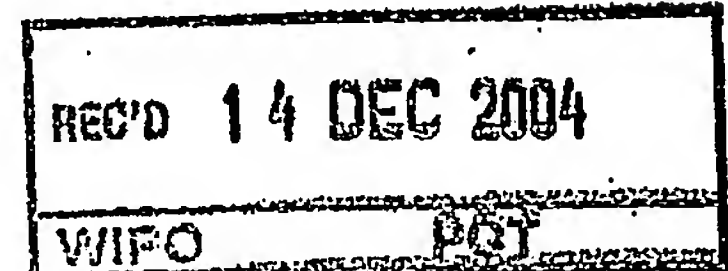


**BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND**

**PRIORITY  
DOCUMENT**  
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN  
COMPLIANCE WITH RULE 17.1(a) OR (b)

**Prioritätsbescheinigung über die Einreichung  
einer Patentanmeldung****Aktenzeichen:**

103 49 766.8

**Anmeldetag:**

24. Oktober 2003

**Anmelder/Inhaber:**Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der ange-  
wandten Forschung eV, 80686 München/DE**Bezeichnung:**Kieselsäurepolykondensate mit verzweigt-kettigen,  
urethan-, säureamid- und/oder carbonsäureester-  
gruppenhaltigen Resten**IPC:**

C 08 G, C 07 F, C 08 F

**Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ur-  
sprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.**

München, den 5. November 2004  
**Deutsches Patent- und Markenamt**  
Der Präsident  
Im Auftrag

Klostermeyer

**Kieselsäurepolykondensate mit verzweigt-kettigen, urethan-,  
säureamid- und/oder carbonsäureestergruppenhaltigen Resten**

Die vorliegende Erfindung betrifft neuartige Silane und daraus  
5 gebildete Kieselsäurepolykondensate und -teilkondensate, in  
denen ein an einem Silicium gebundener, organischer Rest  
vorhanden ist, der verzweigt ist und an jedem der beiden Zweige  
mindestens eine eigenständig organisch polymerisierbare Gruppe  
trägt oder an einem der beiden Zweige eine solche Gruppe, an  
10 anderen einen Rest mit einem weiteren Siliciumatom aufweist. Die  
zweite dieser beiden Gruppen bzw. der siliciumatomhaltige Rest  
ist über eine Säureamid-, Urethan- oder Carbonsäureestergruppe  
an den genannten organischen Rest gebunden. Die Erfindung  
umfasst weiterhin verschiedene Verfahren zur Herstellung dieser  
15 Kondensate sowie damit hergestellte Polymerisate und Komposite.

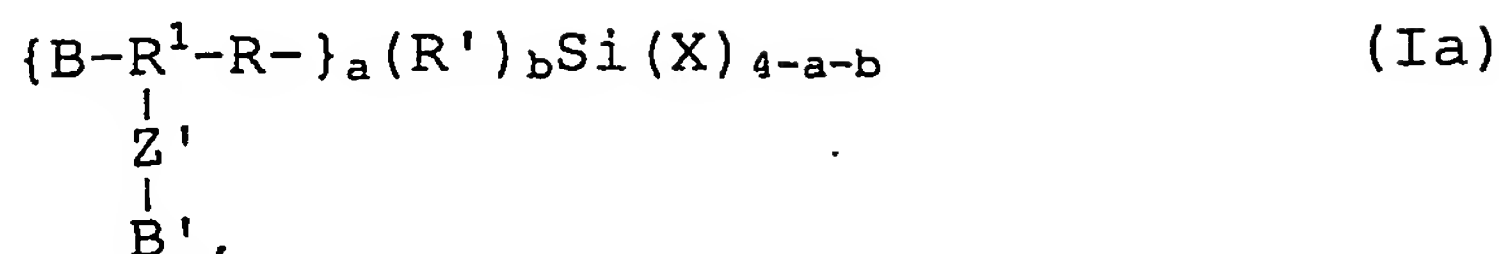
Kieselsäureheteropolykondensate, erhältlich durch Hydrolyse und  
Kondensation von Silanen mit hydrolysierbaren Gruppen, sind seit  
langem bekannt (siehe z.B. DE PS 27 58 414). Solche Kondensate  
20 können zu vielerlei Produkten verarbeitet werden, beispielsweise  
zu Überzügen, Beschichtungen, Membranen oder Bulkmaterialien.  
Die zugrundeliegenden Silane können auch Doppelbindungen oder  
andere organisch reaktive Gruppen aufweisen, durch die sie in  
ein organisches Netzwerk einpolymerisiert werden können (siehe  
25 z.B. DE 40 11 044 C2 und DE 44 05 261 A1). Eine ganz spezifische  
Gruppe solcher Materialien lässt sich aus Kieselsäure-  
polykondensaten erhalten, die einen am Silicium gebundenen Rest  
aufweisen, der neben mindestens einer organisch reaktiven Gruppe  
zusätzlich eine freie Hydroxy- oder Carbonsäuregruppe enthält.  
30 Solche Kieselsäurepolykondensate sind in der DE 44 16 857 C1  
beschrieben. Sie sind, allein oder in Mischungen oder zusammen  
mit anderen hydrolysierbaren, kondensierbaren oder  
polymerisierbaren Komponenten, für die Herstellung von  
kratzfesten Beschichtungen, Füll-, Klebe- oder Dichtungsmassen,  
35 Formkörpern oder Einbettmaterialien geeignet. Die Gruppe der in  
der DE 44 16 857 C1 beschriebenen Verbindungen zeichnet sich  
ferner dadurch aus, dass der Abstand zwischen Silicium und  
reaktiver bzw. reaktiven Doppelbindung(en) beliebig einstellbar

ist, weshalb die physikalischen Eigenschaften der damit erhaltenen Kondensate bzw. Polymerisate in weiten Bereichen einstellbar sind.

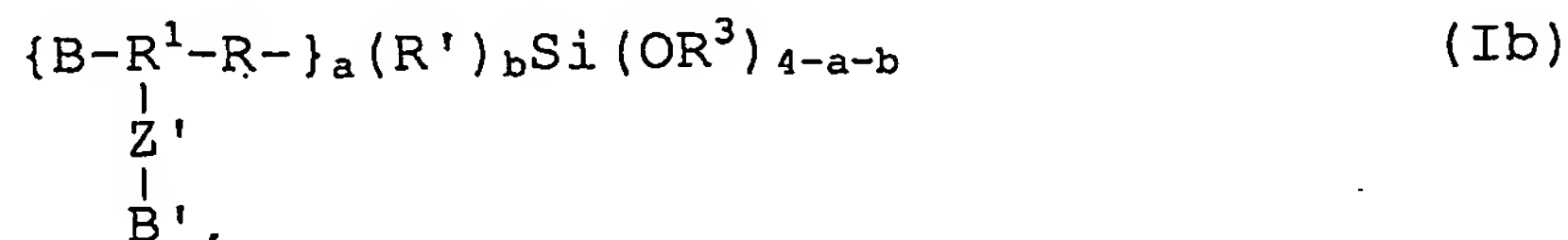
5 Die Carbonsäuregruppe der carbonsäuremodifizierten Silane der DE 44 16 857 C1 sind Ladungsträger und ermöglichen damit beispielsweise die Herstellung von Dispersionen bzw. Emulsionen oder von Elektrottauchlackierungen. Außerdem können diese Gruppen mit geeigneten Metallverbindungen des Titans, Zirkons, Zinns und  
10 anderen komplexiert werden oder, im Falle von freien Hydroxygruppen, selbst als Komplexmierungsmittel fungieren, was sich positiv auf die Röntgenopazität, die Kontakttoxizität und die Steigerung des Brechungsindex auswirken kann. Die Kombination von Carboxylgruppen mit polymerisierbaren C=C-  
15 Doppelbindungen in Verbindung mit dem anorganischen Silanteil stellt eine ideale Verbindung zum Einsatz als Polyalkensäuren in Ionomerzementen dar. Allerdings werden in manchen Fällen Systeme mit einer geringeren Matrixhydrophilie als derjenigen der Kondensate benötigt, die man aus den Verbindungen der  
20 DE 44 16 857 C1 erhält. Denn mit Systemen mit einer niedrigeren Matrixhydrophilie würde sich deren Wasseraufnahme in Gegenwart von Feuchtigkeit verringern, ihre Nassfestigkeit steigern und die Viskosität der Harze senken lassen. Darüber hinaus kann ein noch höheres organisches Vernetzungspotential und damit eine  
25 generelle Steigerung der Festigkeit wünschenswert sein.

Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, solche Systeme sowie die dafür benötigten Silane bereitzustellen, und zwar über den Einbau einer spezifischen Gruppierung in diese, die im übrigen  
30 eine große Variabilität der übrigen Strukturelemente und damit der Eigenschaften der erzeugbaren Harze und Polymerisate ermöglicht.

Gelöst wird diese Aufgabe durch die Bereitstellung von Silanen  
35 der Formel (Ia)



sowie von Kieselsäurepolykondensaten oder -teilkondensaten, enthaltend das folgende Strukturelement (Ib):



worin die Reste und Indices die folgende Bedeutung haben:

R ist eine offenkettige und/oder cyclische Alkylen-, Arylen- oder Alkylenarylengruppe mit jeweils 1 bis 10 Kohlenstoffatomen, die in manchen Fällen durch eine oder mehrere Sauerstoff- oder Schwefelatome oder Carboxyl- oder Aminogruppen unterbrochen sein oder solche Atome/Gruppen an ihrem dem Siliciumatom abgewandten Ende tragen kann.

R<sup>1</sup> ist eine mit Z' substituierte, offenkettige und/oder cyclische Alkylen-, Arylen- oder Alkylenarylengruppe mit jeweils 1 bis 10 Kohlenstoffatomen, die in manchen Fällen durch eine oder mehrere Sauerstoff- oder Schwefelatome oder Carboxyl- oder Aminogruppen unterbrochen sein oder solche Atome/Gruppen an einem ihrer Enden tragen kann.

Die an ein Siliciumatom gebundenen Reste R<sup>3</sup> können gleich oder verschieden sein. Zumindest ein Teil davon muss die Bedeutung einer Bindung zu einem anderen Siliciumatom, ggf. stattdessen teilweise auch zu einem anderen Metallatom, das sich in Kieselsäureheteropolykondensate einbauen lässt, besitzen. In vielen Fällen werden nicht alle Reste R<sup>3</sup> diese Bedeutung haben, dann wird ein Teil davon statt dessen ein Wasserstoffatom sein, das Siliciumatom also eine oder mehrere Hydroxygruppen tragen. Für den Fall, dass 4-a-b 3 ist, können durchschnittlich in etwa 30 bis 70 %, also bis zu etwa zwei der drei Gruppen OR<sup>3</sup> Hydroxy sein. Wenn 4-a-b 2 ist, kann die Anzahl der nicht vernetzten Gruppen OR<sup>3</sup> durchschnittlich bis zu etwa 50% betragen. Bei 50% ist durchschnittlich eine der beiden Gruppen mit einem weiteren



Silicium- oder Metallatom vernetzt. In manchen der vorgenannten Fälle kann ein Teil der Gruppen  $R^3$  statt Wasserstoff auch eine Alkylgruppe mit 1 bis 10, vorzugsweise 1 bis 4, Kohlenstoffatomen darstellen. Über den Anteil der Reste, die Bindungen zu weiteren Si-Atomen oder anderen Metallatomen darstellen, definiert sich der Kondensationsgrad des (Teil-)Kondensates zumindest soweit, wie es sich über die obige Formel (Ib) darstellen lässt.

10  $R'$  ist eine offenkettige und/oder cyclische Alkyl-, Alkenyl-, Aryl-, Alkylaryl- oder Arylalkylgruppe mit vorzugsweise 1 bis 10 Kohlenstoffatomen; diesbezüglich sei auch auf die weiteren Erläuterungen zur Funktion dieser Gruppe verwiesen, die sich bei der Definition der unten beschriebenen Formel (II) finden.

15

B und  $B'$  können gleich oder verschieden sein; beide Reste können die Bedeutung einer geradkettigen oder verzweigten organischen Gruppe mit mindestens einer C=C-Doppelbindung und mindestens 2, vorzugsweise bis zu 50 Kohlenstoffatomen haben,  $B'$  kann statt dessen aber auch  $-R^2_aSiX_{4-a}$  oder  $-R^2_aR'_bSiX_{4-a-b}$  bedeuten, worin  $R^2$  eine Alkylengruppe mit 1 bis 10 Kohlenstoffatomen und X wie nachstehend definiert ist. Die Reste B und auch  $B'$ , wenn es sich auch bei dem letzteren um einen Rest mit der Bedeutung einer geradkettigen oder verzweigten organischen Gruppe mit mindestens einer C=C-Doppelbindung und 2 bis vorzugsweise 50 Kohlenstoffatomen handelt, tragen beliebige organisch polymerisierbare Gruppen. Die mindestens eine C=C-Doppelbindung in B bzw.  $B'$  kann beispielsweise Bestandteil einer Vinyl-, Allyl-, Norbornen-, Acryl- und/oder Methacrylgruppe sein. In einer bevorzugten Ausgestaltung trägt jeder der Reste B und  $B'$  ein Michaelssystem, besonders bevorzugt eine Acrylat- oder Methacrylatgruppe. In einer weiteren bevorzugten Ausgestaltung trägt der Rest B zwei oder sogar drei Michaelssysteme, z.B. Acrylat- oder Methacrylatgruppen. Besonders zu nennen sind Reste B und  $B'$ , die als Strukturelemente  $C_2$ - $C_4$ -Alkandiole, die Trimethylolpropangruppe, die Pentaerythritgruppe oder die Glycerolstruktur enthalten. B und  $B'$  können Acrylsäureestergruppen und oder Methacrylsäureestergruppen des Trimethylolpropan, der Glycerins,

20  
25  
30  
35

des Pentaerythrits, der C<sub>2</sub>-C<sub>4</sub>-Alkandiole, der Polyethylenglycole, der Polypropylenglycole oder des gegebenenfalls substituierten und/oder alkoxylierten Bisphenol A sein oder diese Ester umfassen. Ebenfalls bevorzugt ist es, dass B und ggf. B' nur  
5 eine (Meth)acrylatgruppe enthalten, die über eine Esterbindung des Carboxylrestes an das übrige Molekül gebunden ist. B und B' können ein durchgehendes Kohlenstoffskelett aufweisen, die Kohlenstoffkette(n) (Haupt- und/oder Seitenkette(n) können aber auch durch Heteroatome bzw. Gruppen wie O, S, SO, NH, NHCO, PR,  
10 POR, CONHCO, COO, NHCOO oder dergleichen unterbrochen sein. Das Kohlenstoffskelett von B oder B' kann ausschließlich aliphatisch sein, und zwar mit offenen und/oder geschlossenen Strukturen, B und B' können aber auch einen oder mehrere aromatische(n) Kern(e) oder kondensierte Systeme oder Triazingruppen oder dgl.  
15 aufweisen, z.B. Bisphenol-A-Strukturen oder dergleichen. Ferner können die Gruppen oder Strukturen beliebig substituiert sein, z.B. mit Säure-, Säureamid-, Ester- oder Aminogruppen.

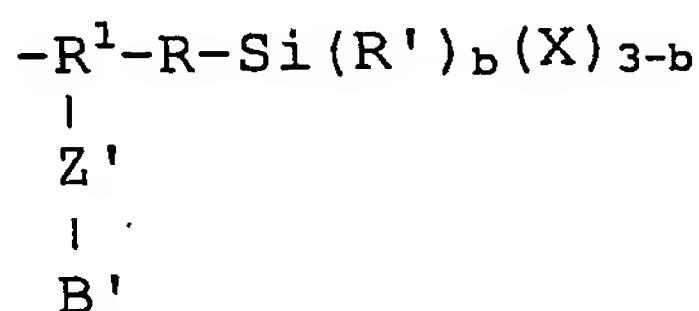
X ist eine Gruppe, die unter Ausbildung von Si-O-Si-Brücken eine  
20 hydrolytische Kondensationsreaktion eingehen kann. Gruppen X werden als anorganische Netzbildner bezeichnet, da sich bei der hydrolytischen Kondensationsreaktion ein Kieselsäurepolykondensat-Netzwerk ausbilden kann. Dem Fachmann ist dementsprechend bekannt, welche Bedeutung X annehmen kann.  
25 Vorzugsweise ist X eine C<sub>1</sub>-C<sub>10</sub>-Alkoxygruppe, stärker bevorzugt eine C<sub>1</sub>-C<sub>4</sub>-Alkoxygruppe und ganz besonders bevorzugt Methoxy oder Ethoxy. X kann aber auch je nach Bedarf ein Halogenid wie Cl, Wasserstoff, Hydroxy, Acyloxy mit vorzugsweise 2 bis 5 Kohlenstoffatomen, Alkylcarbonyl mit vorzugsweise 2 bis 6  
30 Kohlenstoffatomen, oder Alkoxycarbonyl mit vorzugsweise 2 bis 6 Kohlenstoffatomen sein. In manchen Fällen kann X auch NR" mit R" gleich Wasserstoff, Alkyl mit vorzugsweise 1-4 Kohlenstoffatomen oder Aryl mit vorzugsweise 6-12 Kohlenstoffatomen bedeuten.

35 Z' hat die Bedeutung -NH-C(O)O-, -NH-C(O)- oder -CO(O)-, wobei die beiden erstgenannte Reste über die NH-Gruppe am Rest B' gebunden sind, während die Carboxylatgruppe in beide Richtungen weisen kann.

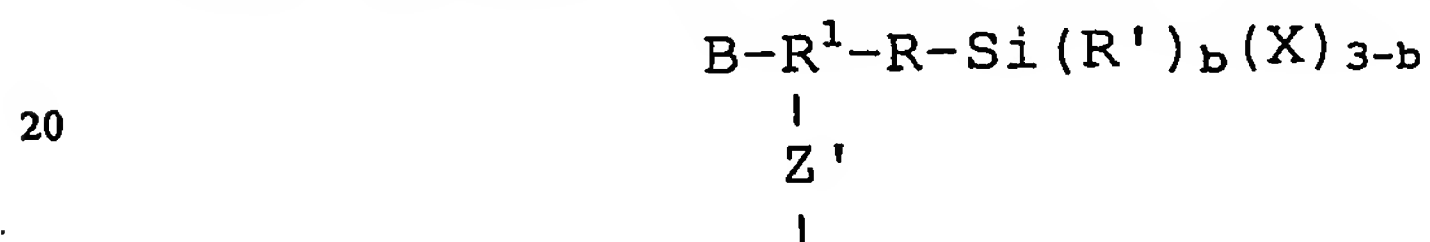
a bedeutet 1 oder 2, vorzugsweise 1, und b kann 0 oder 1 sein.

5  $R^2$  ist vorzugsweise ein Rest mit 1 bis 4 Kohlenstoffatomen und besonders bevorzugt Propylen, und  $R^3$  ist vorzugsweise ein Rest mit 1 bis 4 Kohlenstoffatomen und besonders bevorzugt Methyl oder Ethyl, oder eine Bindung zu einem weiteren Si-Atom.

10 In einer spezifischen Ausgestaltung der Silane gemäß Formel (Ia) enthält B eine, zwei oder drei weitere Gruppen



oder enthält B' eine, zwei oder drei weitere Gruppen



25 worin die Reste und Indices die oben angegebene Bedeutung besitzen. In dieser Ausgestaltung liegen an einem Rest B oder B' zwei oder mehrere Silanreste gebunden vor. Die hydrolytische Kondensation solcher Silane führt ebenfalls zu Kiesel Säurepoly(teil)kondensaten der Formel (Ib), die die obigen Strukturelemente enthalten.

30

Erfindungsgemäß werden damit Silane und davon abgeleitete Kiesel Säurepoly(teil)kondensate bereitgestellt, die unter Verwendung von Strukturelementen aufgebaut sind, welche einen teilweise oder vollständig hydrolysierbaren/hydrolysierten und/oder kondensierbaren/kondensierten Silanrest, mindestens 35 eine Urethan-, Säureamid- oder Carbonsäureestergruppe und entweder mindestens zwei verzweigt angeordnete, C=C- Doppelbindungen enthaltende, organisch polymerisierbare Reste, von denen einer über die genannte Urethan-, Säureamid- oder 40 Carbonsäureestergruppe an das Siliciumatom gebunden ist, oder einen solchen organisch polymerisierbaren Rest und einen über

die genannte Urethan-, Säureamid- oder Carbonsäureestergruppe an diesen organischen Rest gebundenen weiteren, ein Siliciumatom enthaltenden Rest aufweisen. Alle drei Molekülteile können entsprechend JTB (ISC) 1992, S.61-72 und Polymer + Materials Research Symposium 1993, Bayreuth, S.14-17, zu

5 Eigenschaftsmodifikationen genutzt werden. Dabei ermöglicht die über die Urethan-, Säureamid- bzw. Carbonsäureestergruppe eingeführte zusätzliche polymerisierbare Gruppe eine zusätzliche Vernetzungsmöglichkeit über die organischen Reste, verglichen

10 mit den Kieselsäurepolykondensaten der DE 44 16 857 C1, wodurch sich festere Polymere erhalten lassen, während die hierüber eingeführte Gruppe mit einem weiteren Siliciumatom eine Verdichtung des Si-O-Si-Netzes im Kondensat möglich macht.

15 Wie weiter unten ausführlich erläutert, kann man die erfindungsgemäßen Silane und davon abgeleiteten Kieselsäurepoly(teil)kondensate ausgehend von Silanen erhalten, die einen Rest B sowie eine an einem Linker zwischen diesem Rest B und dem Siliciumatom gebundene Hydroxy- oder Carboxylgruppe

20 aufweisen. Sie sind in der DE 44 16 857 C1 beschrieben. Vergleicht man die Systeme, die man durch direkte Kondensation solcher Silane erhält, mit denjenigen der vorliegenden Erfindung, ist festzustellen, dass die Matrixhydrophilie der erfindungsgemäßen Systeme gegenüber denen der Systeme gemäß DE

25 44 16 857 C1 herabgesetzt ist, da keine oder, wenn ein Teil der ursprünglichen Hydroxy- oder Carboxylgruppen nicht zur Reaktion gebracht wird, nur eine reduzierte Anzahl von freien OH- oder Carbonsäuregruppen vorhanden ist/sind, so dass man nassfestere, weniger viskose Harze mit einer geringeren Empfindlichkeit

30 gegenüber Feuchtigkeit erhalten kann. Auf der anderen Seite läßt sich über die Variabilität der Reste B, B', R, R<sup>1</sup> und R' eine hohe Variabilität erzielen, die zu besonderen und neuen Eigenschaftskombinationen führt. Ein weiterer Vorteil der vorliegenden Erfindung liegt darin, dass man monomerfreie

35 Kondensate und daraus (durch Polymerisation der organisch polymerisierbaren Gruppen) organische Polymere mit guten mechanischen Eigenschaften und geringer Schrumpfung bei Viskositätseigenschaften erhalten kann, die gute



Verarbeitungsmöglichkeiten bieten. Solche Polymere werden nachstehend als Polymerisate bezeichnet, wenn sie füllmittelfrei sind, und als Komposite, wenn sie Füllstoffe enthalten.

5 Bevorzugt sind erfindungsgemäß Silane der Formel (Ia) und Kieselsäurepolykondensate mit dem genannten Strukturelement (Ib), worin B die Bedeutung B"-Z- besitzt und Z eine -O-C(O)-, -S-C(O) oder -NH-C(O)-Gruppe ist, wenn Z' -NH-CO- ist, und Z -O-R<sup>4</sup>, -S-R<sup>4</sup>, -NH-R<sup>4</sup>, -C(O)O-R<sup>4</sup>, -O-, -S-, -NH- oder -C(O)O- ist,  
10 wenn Z' -NH-C(O)O- ist. R<sup>4</sup> kann dabei die Bedeutung Alkylen, Arylen oder Alkylarylen mit vorzugsweise 1 bis 10 (für ringfreie Gruppen) bzw. 6 bis 14 (für ringhaltige Gruppen) Kohlenstoffatomen haben. B" ist dabei wie B eine geradkettige oder verzweigte organische Gruppe mit mindestens einer C=C-  
15 Doppelbindung und 2 bis vorzugsweise 50 Kohlenstoffatomen. B" besitzt bevorzugt die auch für B als bevorzugt genannten Bedeutungen.

Die Kieselsäurepoly(teil)kondensate mit dem Strukturelement der  
20 Formel (Ib) können gegebenenfalls auch aus einem Gemisch von verschiedenen Silanen der Formel (Ia) abgeleitet sein, in denen die Reste B und/oder B' unterschiedliche Bedeutungen besitzen. In diesen Kondensaten besitzen dann die Reste B und/oder B' keine einheitliche Bedeutung. Da andererseits B in diesen  
25 Kondensaten einerseits die Bedeutung haben kann, wie sie für B' definiert ist, andererseits aber auch eine davon verschiedene, umfaßt die Formel (Ib) Kieselsäurepoly(teil)kondensate, in denen alle Reste B und B' dieselbe Bedeutung haben, Kieselsäurepoly(teil)kondensate, in denen B und B' eine  
30 unterschiedliche Bedeutung haben, aber alle Reste B und alle Reste B' jeweils denselben Rest darstellen, und Kieselsäurepoly(teil)kondensate, in denen die Reste B' eine von B verschiedene Bedeutung besitzen und die Reste B und/oder die Reste B' jeweils Mischungen von unterschiedlichen Resten sind.  
35 Alternativ oder zusätzlich können diese Kondensate Fremdmetallatome enthalten, die sich in solche Systeme einkondensieren lassen, beispielsweise Bor, Aluminium, Germanium, Zinn, Titan oder Zirkon. Die Metalle, die hierfür

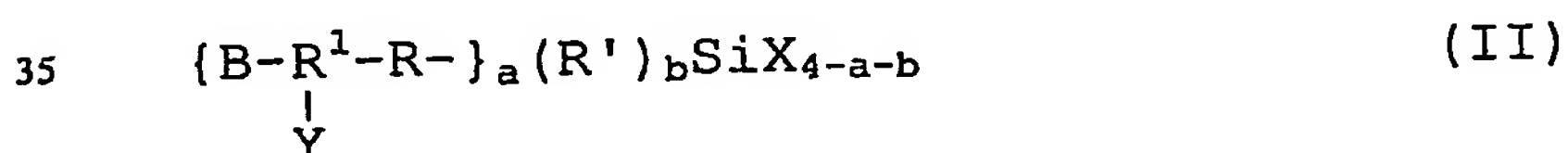
geeignet sind, sind dem Fachmann bekannt. Bei fremdmetallhaltigen Kieselsäurepoly(teil)kondensaten handelt es sich dann um Heterokieselsäurepoly(teil)kondensate.

5 Es ist darauf hinzuweisen, dass die Bestandteile B, B' und Z' in den erfindungsgemäßen Kieselsäure(teil)kondensaten mit dem Strukturelement (Ib) nicht notwendigerweise im stöchiometrischen Verhältnis zueinander vorhanden sein müssen, wie es sich aus dem  
10 Strukturelement selbst ergibt. Wie man auch nachstehend aus der Beschreibung und den Beispielen ersehen kann, kann zum Beispiel der Rest B' unterstöchiometrisch vorhanden sein. In diesen Fällen enthält das Poly(teil)kondensat noch freie (oder durch Umesterung anderweitig "verkappte" oder "geschützte") Hydroxy- oder Carboxylgruppen, was, wie oben beschrieben, das  
15 Viskositätsverhalten der Harze beeinflusst.

Über die organisch polymerisierbaren Anteile der Reste B und ggf. auch B' sind die erfindungsgemäßen Kieselsäurepolykondensate organisch vernetzbar. Dabei wird wegen des  
20 Vorhandenseins von mindestens zwei organisch vernetzbaren Gruppen pro Silanmolekül ein System erhalten, dessen organischer Anteil zu einer besonders hohen mechanischen Festigkeit sowie einem verbesserten Schrumpfverhalten mit einer verringerten Schrumpfung führt.

25 Wenn B' statt dessen  $-R^2_aSiX_{4-a}$  oder  $R^2_aR'_bSiX_{4-a-b}$  ist, kann das erfindungsgemäße Siliciumpolykondensat in dieser Ausgestaltung wegen des Vorhandenseins eines weiteren Siliciumatoms ein besonders dichtes Si-O-Si-Netzwerk ausbilden.

30 Erhältlich sind die erfindungsgemäßen Verbindungen und (Teil-)Kondensate beispielsweise ausgehend von Verbindungen der Formel II



worin B,  $R^1$ , R, R', X a und b die für die Formeln (Ia) und (Ib) angegebenen Bedeutungen besitzen und Y OH oder COOH ist. Die am  
40 Siliciumatom befindlichen Substituenten oder Reste R' und X

können beliebig ausgewählt werden. In der Literatur über die anorganisch-organischen, Siliciumatome enthaltenden Materialien, z.B. diejenigen, die unter der Bezeichnung "ORMOCERE"® im Handel sind, ist viel über die jeweiligen Eigenschaften geschrieben worden, die die jeweiligen Silanreste dem Kondensat oder organisch polymerisierten Netzwerk verleihen, so daß hier keine detaillierten Erläuterungen nötig sind. Mit X werden hydrolysierbare Reste bezeichnet. Mit diesen Gruppen, die auch als anorganische Netzwerkbildner bezeichnet werden, werden im Zusammenspiel mit ggf. vorhandenen organischen Netzwerkbildnern, hier also insbesondere den organisch polymerisierbaren Gruppen der Reste B und ggf. B', physikalische Eigenschaften des sich bildenden Netzwerks eingestellt wie Härte bzw. Flexibilität oder der thermische Ausdehnungskoeffizient. Die in der Regel nicht organisch polymerisierbaren Gruppen R' werden als Netzwerkwandler bezeichnet; mit ihrer Wahl lassen sich ebenfalls eine Reihe von Eigenschaften beeinflussen. Dem Fachmann ist dementsprechend bekannt, welche Bedeutung X annehmen kann. Vorzugsweise ist X eine C<sub>1</sub>-C<sub>10</sub>-Alkoxygruppe, stärker bevorzugt eine C<sub>1</sub>-C<sub>4</sub>-Alkoxygruppe und ganz besonders bevorzugt Methoxy oder Ethoxy. X kann aber auch je nach Bedarf ein Halogenid wie Cl, Wasserstoff, Hydroxy, Acyloxy mit vorzugsweise 2 bis 5 Kohlenstoffatomen, Alkylcarbonyl mit vorzugsweise 2 bis 6 Kohlenstoffatomen, Alkoxycarbonyl mit vorzugsweise 2 bis 6 Kohlenstoffatomen, ggf. auch NR" mit R" gleich Wasserstoff, Alkyl mit vorzugsweise 1-4 Kohlenstoffatomen oder Aryl mit vorzugsweise 6-12 Kohlenstoffatomen, oder eine andere geeignete Abgangsgruppe sein.

Verbindungen der Formel (II) sind bekannt. So lassen sich beispielsweise gemäß der DE 44 16 857 C1 Verbindungen der Formel (II) herstellen, in denen B die Bedeutung B"-Z- besitzt, wobei auch B" die Bedeutung einer geradkettigen oder verzweigten organischen Gruppe mit mindestens einer C=C-Doppelbindung und 2 bis vorzugsweise 50 Kohlenstoffatomen mit den für B beschriebenen bevorzugten Ausgestaltungen besitzt und Z eine -O-C(O)-, -S-C(O) oder -NH-C(O)-Gruppe ist, und zwar durch Additionsreaktionen cyclischer Carbonsäureanhydrid-Silane

beliebiger Ringgröße mit Verbindungen B"(AH), worin AH eine Hydroxy-, eine Mercapto- oder eine Aminogruppe ist, wobei man Produkte erhält, in denen Y -COOH bedeutet. Setzt man statt dessen Epoxid-Silane mit Verbindungen B"(AH) um, in denen AH  
5 eine Hydroxy-, eine Mercapto- oder eine Aminogruppe oder ein Carbonsäurerest ist, erhält man Produkte, in denen Y -OH bedeutet und Z -O-R", -S-R", -NH-R", -C(O)O-R", -O-, -S-, -NH- oder -C(O)O- ist. R" besitzt dabei die oben angegebene Bedeutung. Die Umsetzung erfolgt in der Regel katalysatorfrei im  
10 Falle der Umsetzung mit Carbonsäureanhydrid-Silanen und meist in Gegenwart eines geeigneten Katalysators, z.B. tertiärer Amine wie Triethylamin oder Phosphine wie Triphenylphosphin, und ggf. bei erhöhten Temperaturen, wenn ein Epoxid-Silan eingesetzt wird.

15

Bei den voranstehend beschriebenen Umsetzungen zur Herstellung der Verbindungen der Formel (II) können je nach tatsächlich eingesetzten Ausgangsmaterialien Isomere und Umesterungsprodukte dieser Verbindungen entstehen. Dies ist insbesondere dann in  
20 erheblichem Maße der Fall, wenn die Reste X Alkoxygruppen, vor allem Methoxy- oder Ethoxygruppen sind. Da in solchen Isomeren und Umesterungsprodukten teilweise die Gruppe Y in die Isomerisierungs-/Umesterungsreaktion involviert ist, ist sie in diesen Produkten teilweise nicht mehr frei. Es hat sich aber  
25 herausgestellt, das diese Nebenprodukte genauso gut für die Herstellung der erfindungsgemäßen Kondensate herangezogen werden können, wie die Verbindungen der Formel (II) selbst, wobei eine Trennung der verschiedenen Produkte gar nicht notwendig ist. Es ist statt dessen ausreichend, die für die Herstellung der  
30 Verbindungen mit der Formel (II) beschriebenen Ausgangsmaterialien miteinander in der angegebenen Weise umzusetzen und anschließend einer Hydrolyse zu unterwerfen. Überraschenderweise wird dabei die Gruppe Y wieder frei, während die Rückbildung von SiOH-Gruppen unterschiedlich stark ausfällt  
35 und im wesentlichen unterdrückt werden kann. Deshalb erhält man in der Regel ein Kondensat mit einem Si-O-Si-Netzwerk.



Die Verbindungen der Formel (II) bzw. ihre Kondensationsprodukte mit wieder freigesetzter Gruppe Y werden bei Bedarf aufgearbeitet (z.B. getrennt, gewaschen, isoliert) und/oder, wenn erforderlich, getrocknet. Insbesondere sollte dabei ggf. darauf geachtet werden, dass keine oder möglichst wenig H-aktive Verunreinigungen im Reaktionsgemisch vorhanden sind, um in der nachstehend beschriebenen Umsetzung Nebenreaktionen mit dem Isocyanat zu vermeiden. Sodann können sie mit einem Isocyanat umgesetzt werden, wobei dann, wenn Y OH bedeutet, ein Produkt entsteht, in welchem Z' eine Urethangruppe  $\text{-NH-C(O)O-}$  ist, und wenn Y COOH bedeutet, Z' eine Säureamidgruppe  $\text{-C(O)-NH-}$  ist. Alternativ werden sie mit einer Carbonsäure oder einer aktivierten Carbonylgruppe (z.B. einem Säurechlorid oder -anhydrid) (für Y gleich OH) oder einem Alkohol (für Y gleich COOH) nach gängigen Verfahren, z.B. in Gegenwart von Aktivierungsmitteln wie Dicyclohexylcarbodiimid, umgesetzt, wobei eine Estergruppe  $\text{-C(O)O-}$  entsteht, die je nach Ausgangssubstanzen in die eine oder in die andere Richtung weisen kann.

20

Wenn monomere Verbindungen der Formel (II) umgesetzt wurden, wird man in der Regel Silane der Formel (Ia) erhalten. Diese können anschließend einer hydrolytischen Kondensation unterworfen werden, um zu Kondensaten der Formel (Ib) zu gelangen.

25

Die Herstellung der erfindungsgemäßen Verbindungen kann auf verschiedene Arten erfolgen. Einige Verfahrensvarianten sind nachstehend prinzipiell beschrieben.

30

Im ersten Schritt der Herstellung wird in einer ersten Ausgestaltung der Erfindung eine Verbindung B" (COOH), worin B" die obige Bedeutung besitzt, mit einem einen Oxiranring enthaltenden Silan  $[\text{CH}_2\text{-CH(O)}]\text{-R-Si(X)}_3$  umgesetzt, in dem R und X die für die Formeln (Ia), (Ib) und (II) angegebenen Bedeutungen besitzen. Vorzugsweise ist X eine Methoxy, Ethoxy-, Propoxy- oder Butoxygruppe. R kann beispielsweise  $\text{-CH}_2\text{-O-(CH}_2)_3$  sein. Die Umsetzung erfolgt vorzugsweise in Gegenwart eines Katalysators

35

15

$$\text{H}_2\text{C}=\text{C}(\text{CH}_3)\text{COOH} + \text{3-(trimethoxysilyl)propyl glycidyl ether} \xrightarrow{\text{Kat. / Temp.}}$$

20

$$\text{H}_2\text{C}=\text{C}(\text{CH}_3)\text{COOCH}_2\text{CH}_2\text{OCH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{Si}(\text{OCH}_3)_3 \xrightarrow{-\text{CH}_3\text{OH}}$$

$$\text{H}_2\text{C}=\text{C}(\text{CH}_3)\text{COOCH}_2\text{CH}_2\text{OCH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{Si}(\text{OCH}_3)_2\text{OCH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{Si}(\text{OCH}_3)_2\text{OCH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{Si}(\text{OCH}_3)_3$$

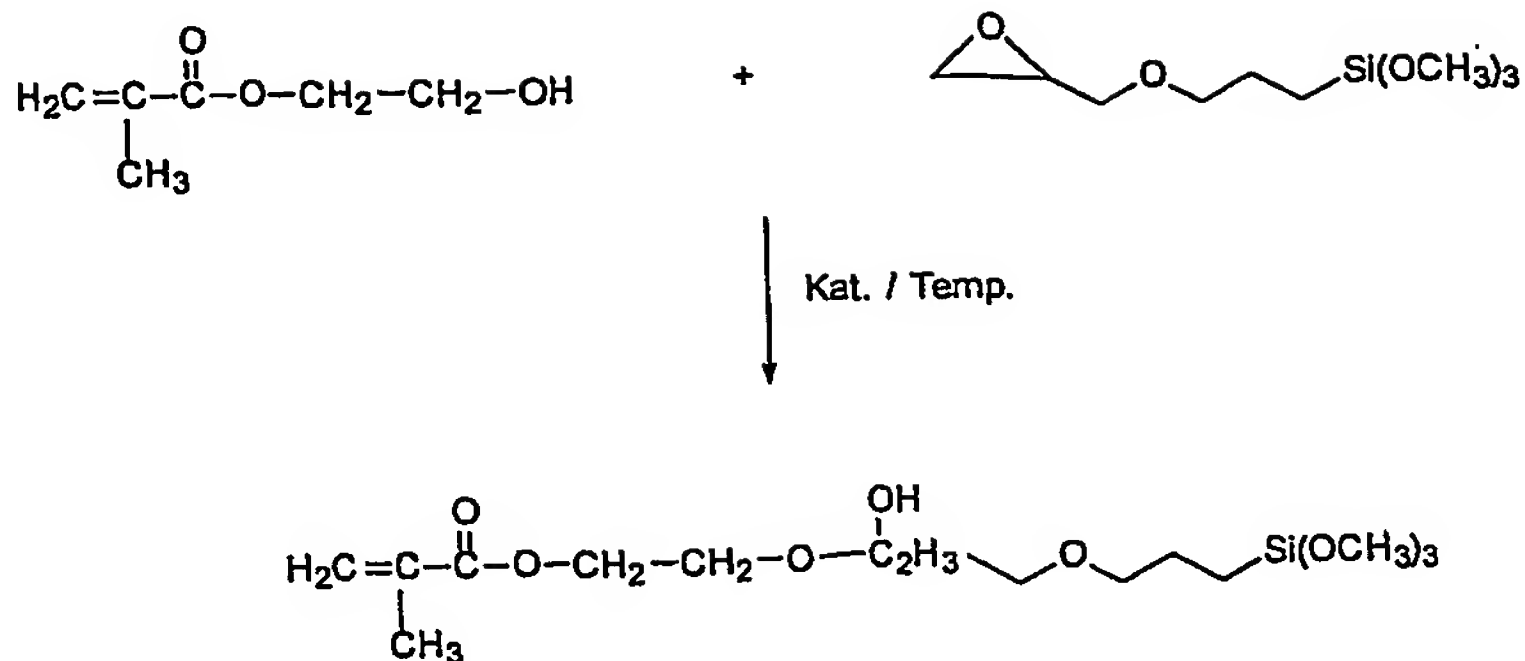
$$\{B-\underset{\substack{| \\ OH}}{R^1}-R-\}_a(R')_bSi(O-)^{4-a-b} \quad (III)$$

aufweist, worin die angegebenen Reste und Indices die voranstehend erläuterte Bedeutung besitzen.

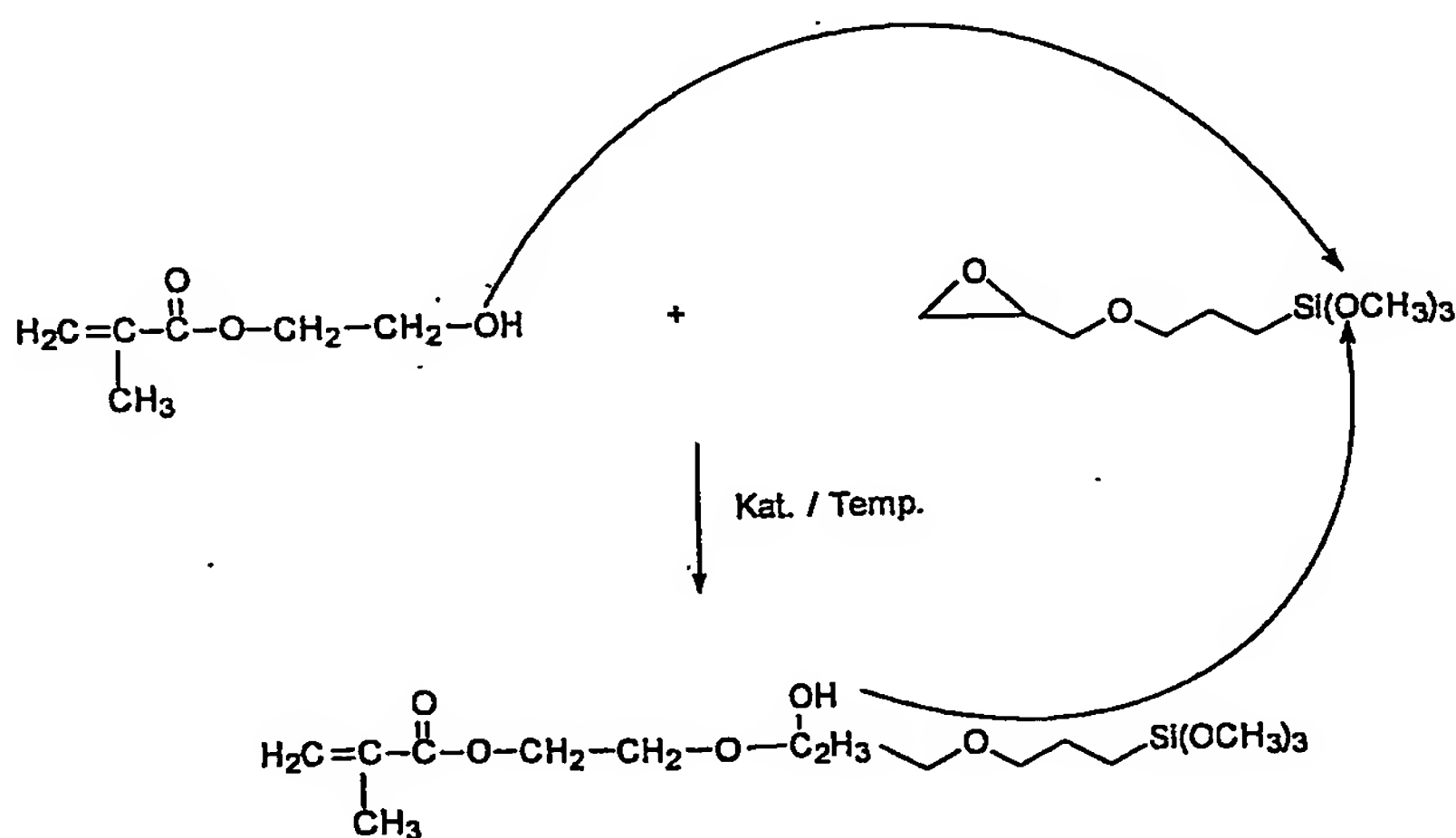
5 Die vorstehend beschriebene Hydrolyse wird jedoch häufig nicht notwendig sein. Denn die Silylierung der Hydroxygruppe kann diese ggf. "schützen". Wenn im Reaktionsgemisch teils freie, teils geschützte OH-Gruppen vorliegen, lässt sich daraus leicht ein Kondensat der Formel (Ib) erzeugen, in dem die Reste B' in  
10 Relation zu B im Überschuss vorliegen. Dass dies wünschenswert sein kann, ist voranstehend beschrieben.

15 In einer zweiten Ausgestaltung der Erfindung wird der erste Schritt durch die Umsetzung einer Verbindung B"(OH), worin B" die obige Bedeutung besitzt, mit einem cyclischen Anhydrid-Rest enthaltenden Silan  $[(CH_2)_n-C_2O_3-CH]-R-Si(X)_3$  umgesetzt, in dem R und X die für die Formeln (Ia), (Ib) und (II) angegebene Bedeutung besitzen. Vorzugsweise ist X eine Methoxy-, Ethoxy-, Propoxy- oder Butoxygruppe. R kann  
20 beispielsweise eine Propylgruppe sein. Die Umsetzung kann ohne Lösungsmittel oder Katalysator und sollte vorzugsweise unter einer inerten Atmosphäre erfolgen; sie ist prinzipiell und am Beispiel der Umsetzung von Glycerin-1,3-dimethacrylat mit Triethoxysilyl-propylbernsteinsäureanhydrid in der DE 44 16 857  
25 C1 beschrieben.

30 In einer dritten Ausgestaltung der Erfindung wird der erste Schritt durch die Umsetzung einer Verbindung B"(OH), worin B" die obige Bedeutung besitzt, mit einem Oxiranring enthaltenden Silan  $[CH_2-CH(O)]-R-Si(X)_3$  umgesetzt, in dem R und X die für die Formeln (Ia), (Ib) und (II) angegebenen Bedeutungen besitzen. Vorzugsweise ist X eine Methoxy-, Ethoxy-, Propoxy- oder Butoxygruppe. R kann beispielsweise  $-CH_2-O-(CH_2)_3$  sein. Die Umsetzung erfolgt vorzugsweise in Gegenwart eines Katalysators  
35 wie oben erläutert und bei erhöhten Temperaturen gemäß dem folgenden Schema, das anhand des Beispiels einer Umsetzung von HEMA (Hydroxyethylmethacrylat) mit mit  
3-Glycidyloxypropyltrimethoxysilan ("Glymo") gezeigt sei:



Wie voranstehend beschrieben, können auch bei dieser Umsetzung je nach Ausgangsmaterial nicht nur eine Verbindung der Formel (II), sondern auch oder sogar ausschließlich Kondensationsprodukte entstehen, beispielsweise durch Verlust eines Moleküls Alkohol unter Ausbildung von Brückenbindungen zwischen dem Sauerstoffatom der sich bildenden Hydroxygruppe (der Gruppe Y in Formel (II)) und einem Siliciumatom. Prinzipiell sind für diese Reaktion dementsprechend die folgenden Umesterungen möglich:



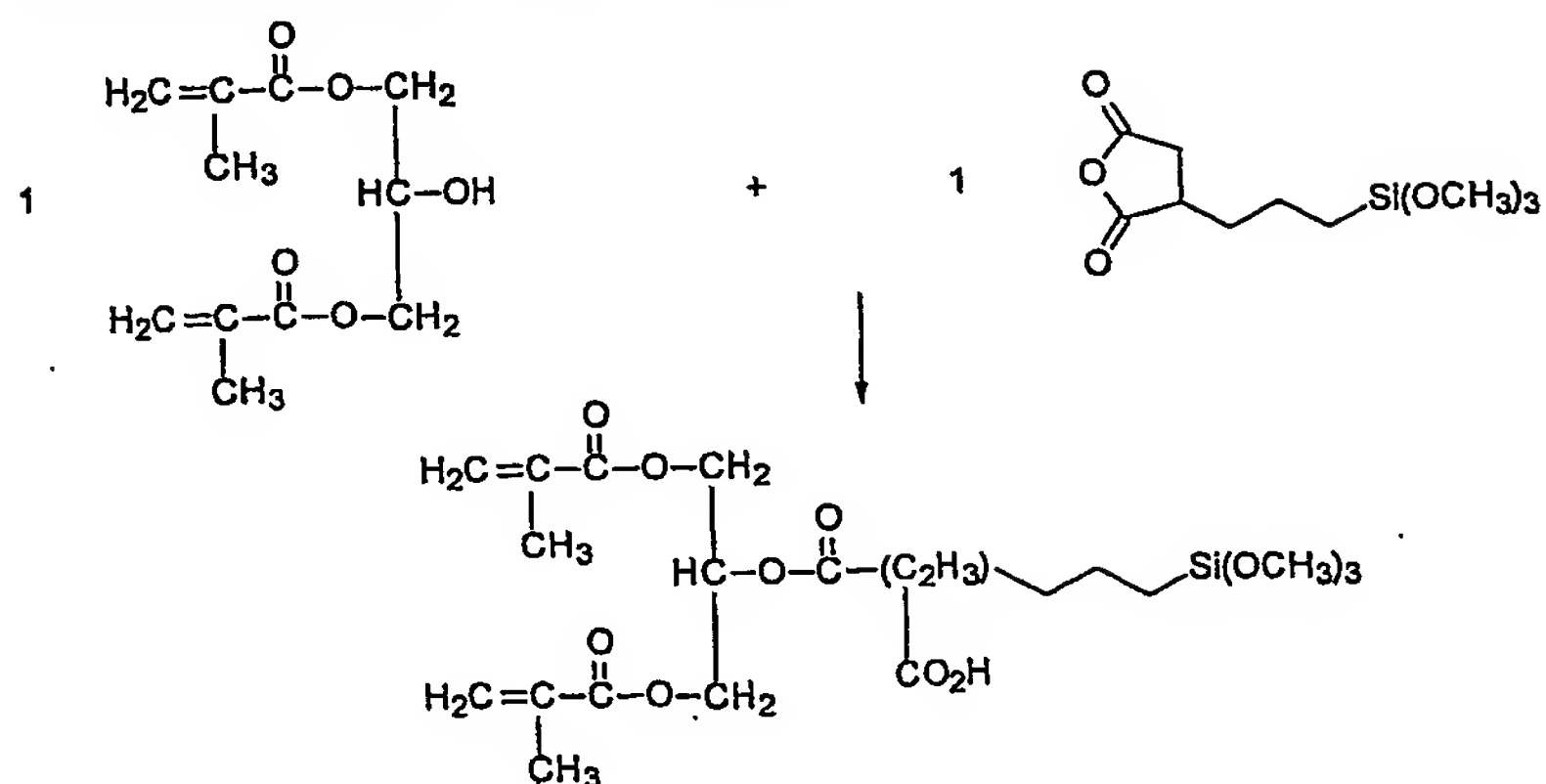
Der nächste Schritt der Herstellung der erfindungsgemäßen Kondensate erfolgt je nach gewünschtem Produkt gemäß den nachfolgend beschriebenen Varianten. In einer Variante (a) wird das Produkt des ersten Schrittes mit einer Verbindung B'NCO umgesetzt, worin B' die voranstehend genannte Bedeutung besitzt.



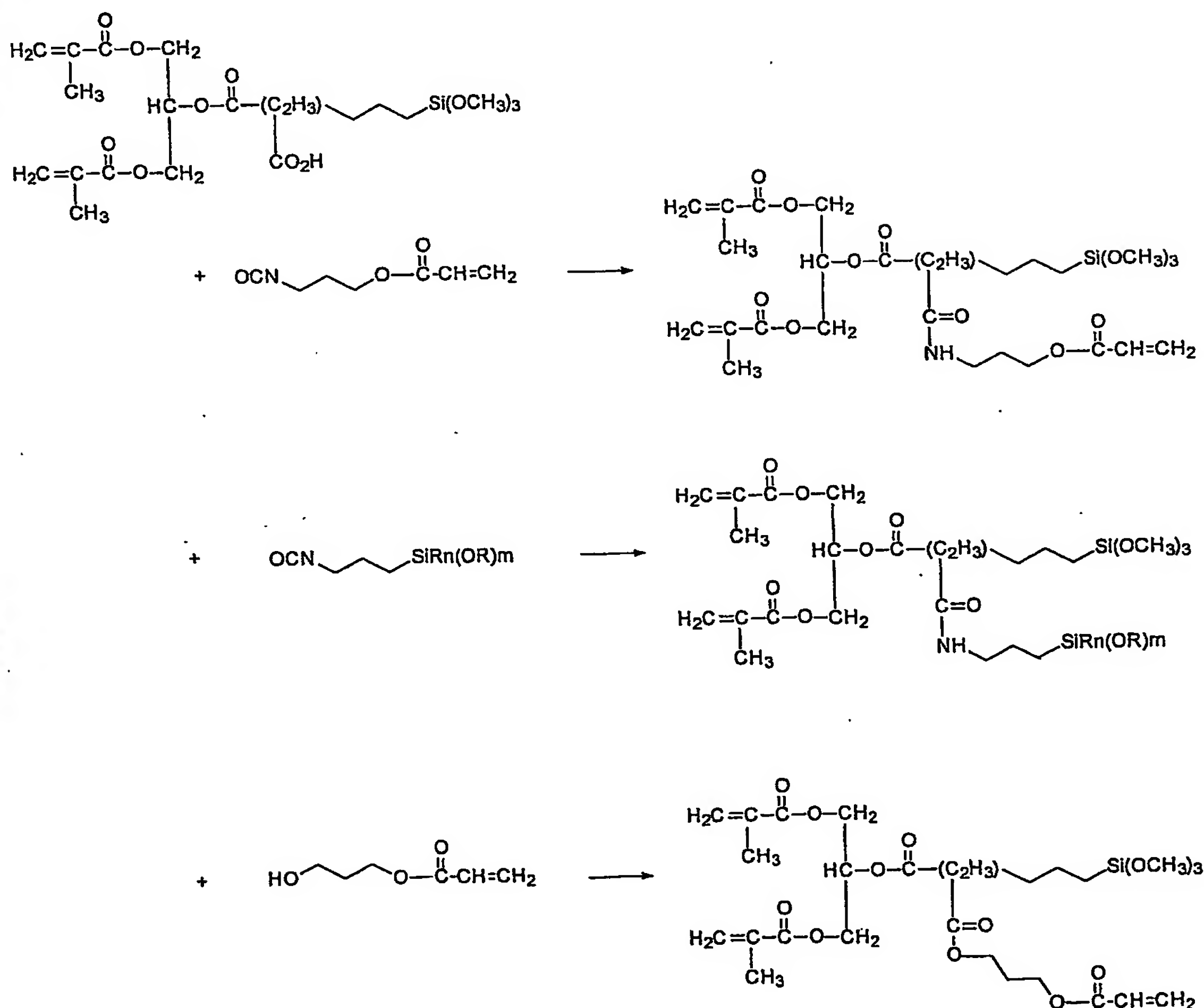
Bedeutet Y im Produkt des ersten Schrittes OH, entsteht eine Verbindung mit der Formel (Ia) oder ein Kondensat mit dem Strukturelement (Ib), worin  $B'-Z' -B'-NHCOO-$  ist. Bedeutet Y im Produkt des ersten Schrittes COOH, entsteht eine Verbindung mit der Formel (Ia) oder ein Kondensat mit dem Strukturelement (Ib),  
5 worin  $B'-Z' - B'-NH-C(O)-$  bedeutet. In einer Variante (b) wird das Produkt des ersten Schrittes, bei dem Y COOH bedeutet, mit einer Verbindung  $B'OH$  umgesetzt, worin B' die voranstehend genannte Bedeutung besitzt. Dabei entsteht ein Kondensat mit dem  
10 Strukturelement (I), in dem  $B'-Z' - B'-O-C(O)-$  bedeutet. In einer Variante (c) wird das Produkt des ersten Schrittes, bei dem Y OH bedeutet, mit einer Verbindung  $B''COOH$  oder einem entsprechenden aktivierten Säurederivat umgesetzt, worin B' die voranstehend  
genannte Bedeutung besitzt. Dabei entsteht ein Kondensat mit dem  
15 Strukturelement (I), in dem  $B'-Z' B'-C(O)O-$  bedeutet.

Der zweistufige Syntheseweg der erfindungsgemäßen Silane sei nachstehend anhand einiger Schemata nochmals verdeutlicht:

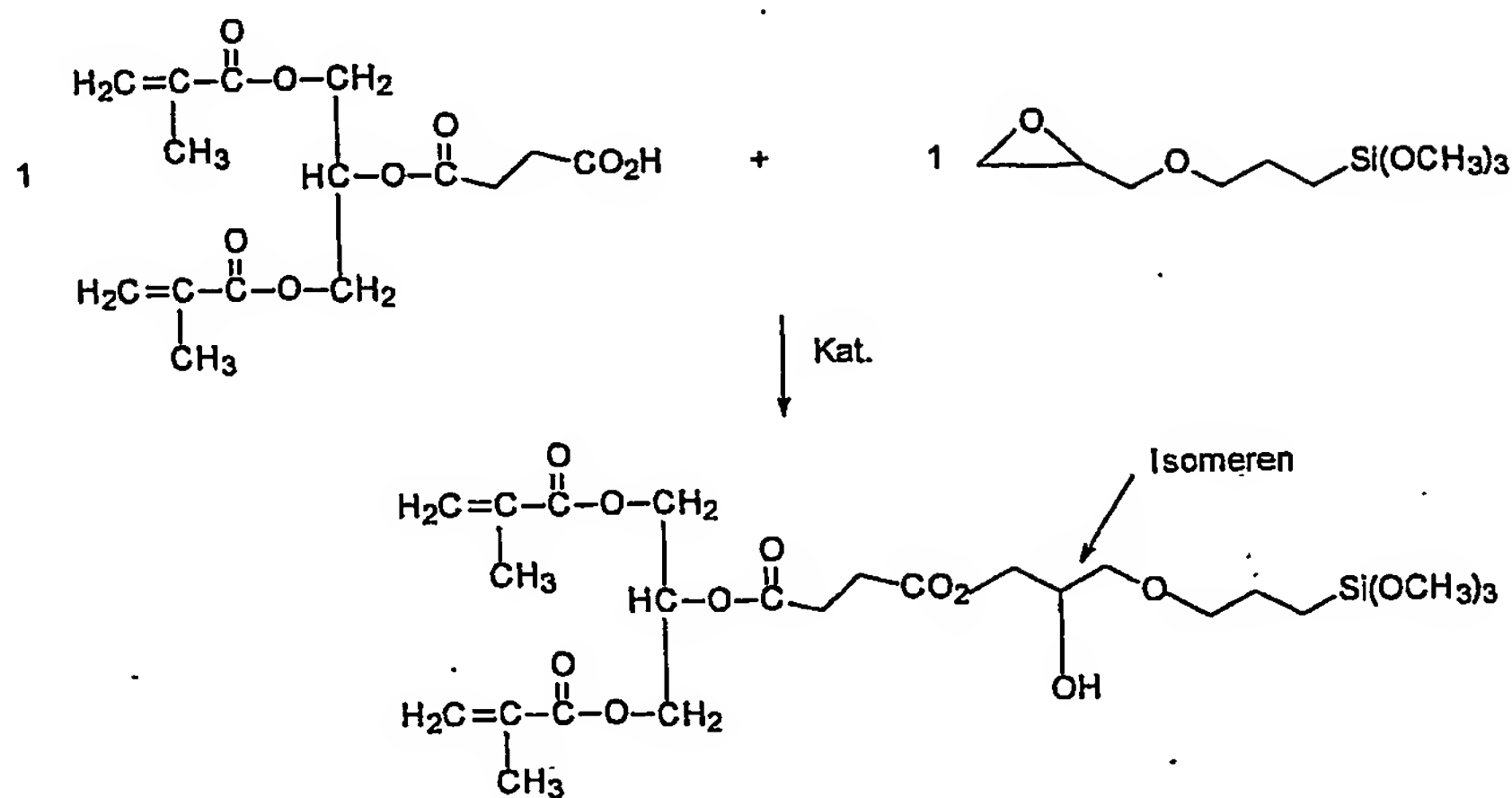
1. Carboxyfunktionalisiertes Dimethacrylat aus DE 4416857



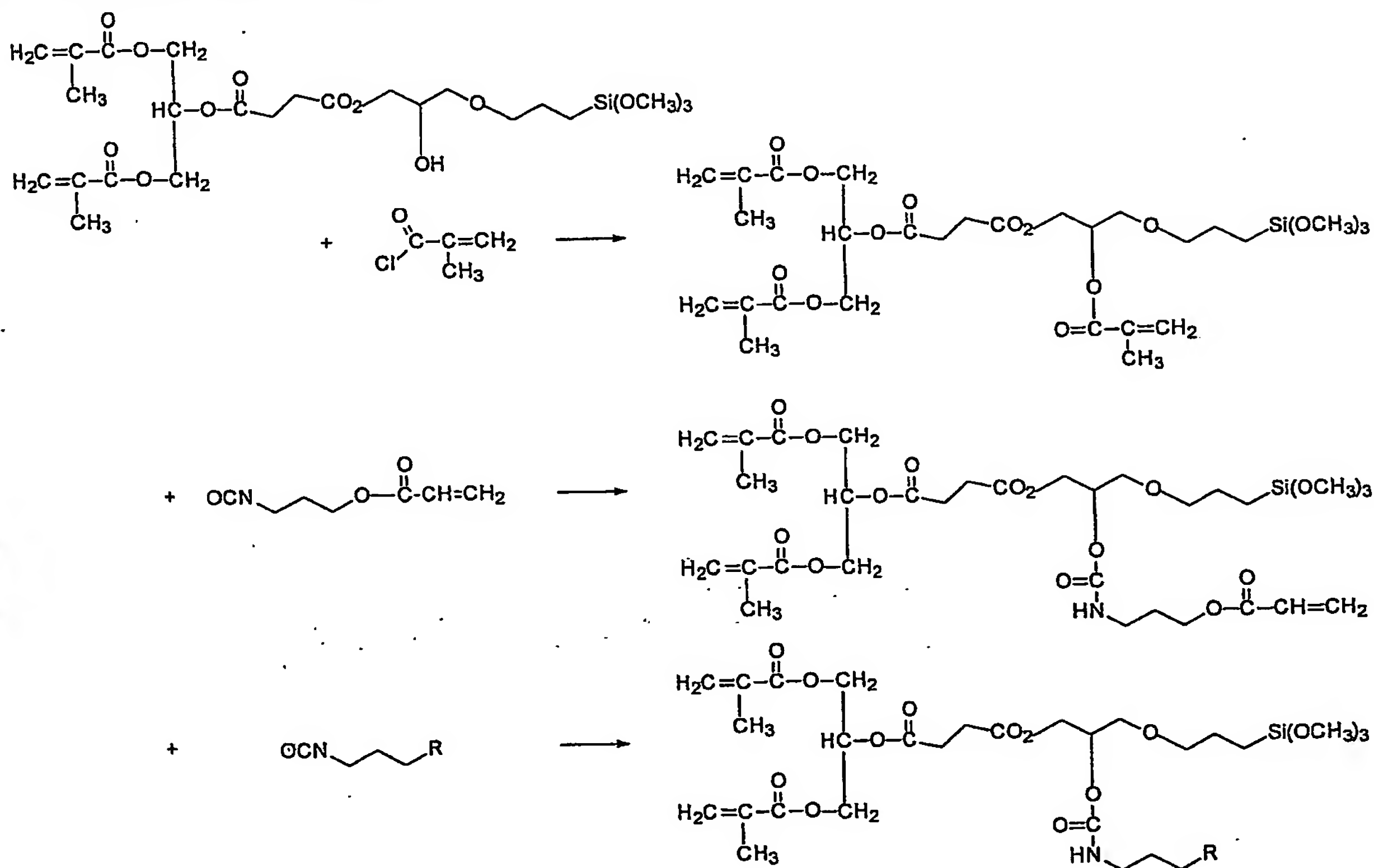
1a. Umsetzung obiger Carboxyfunktionalisierter Dimethacrylate



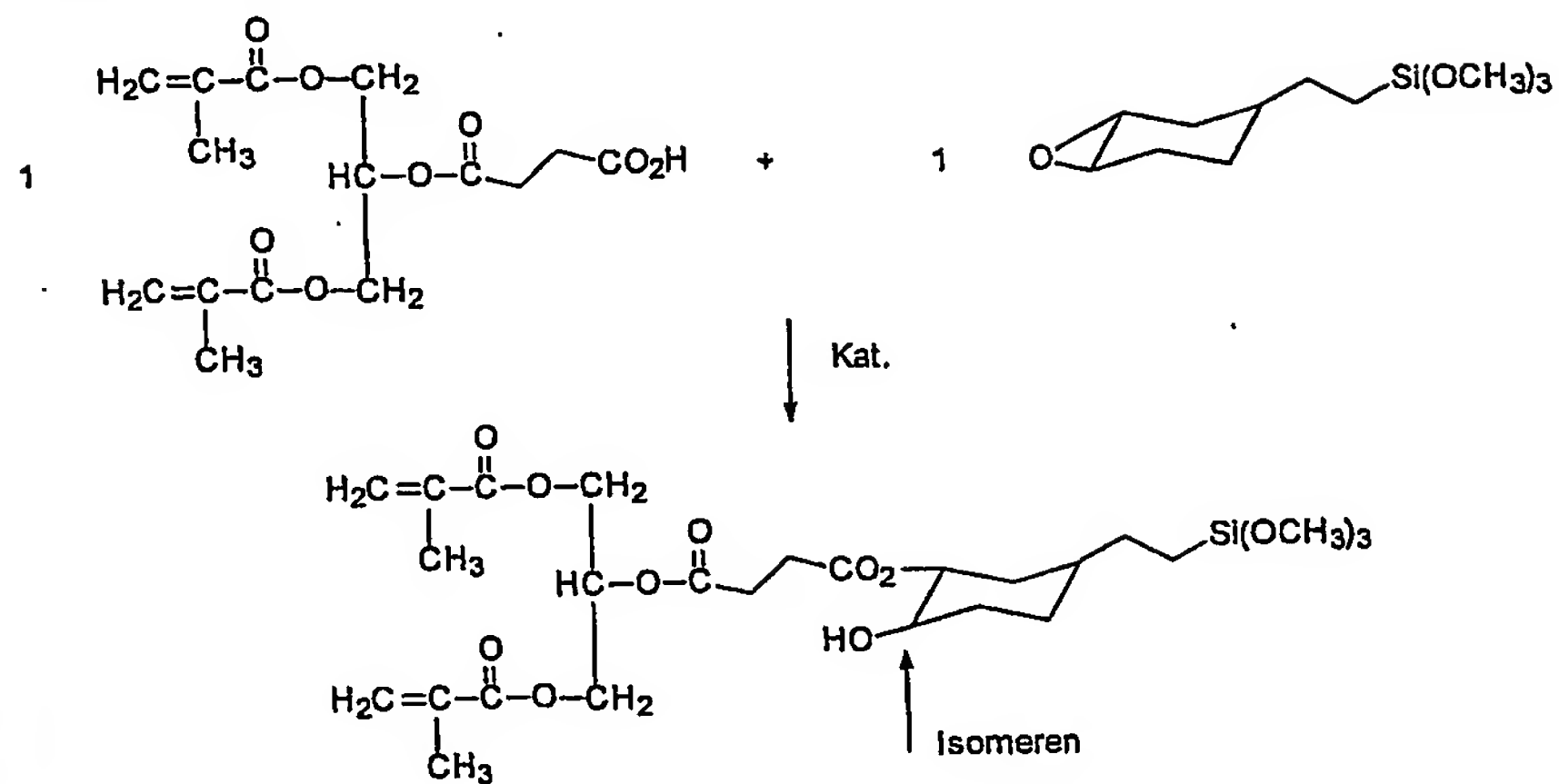
2. Hydroxyfunktionalisiertes Dimethacrylat aus DE 4416857



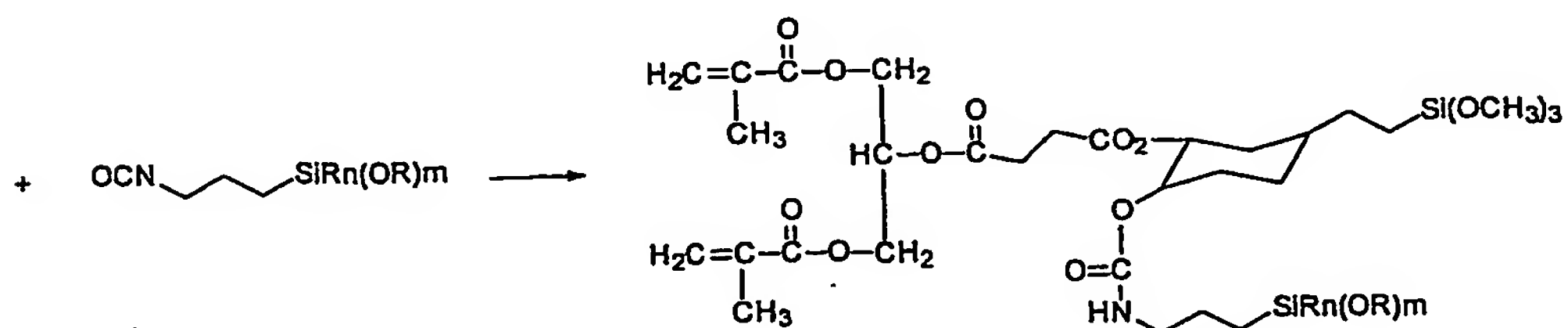
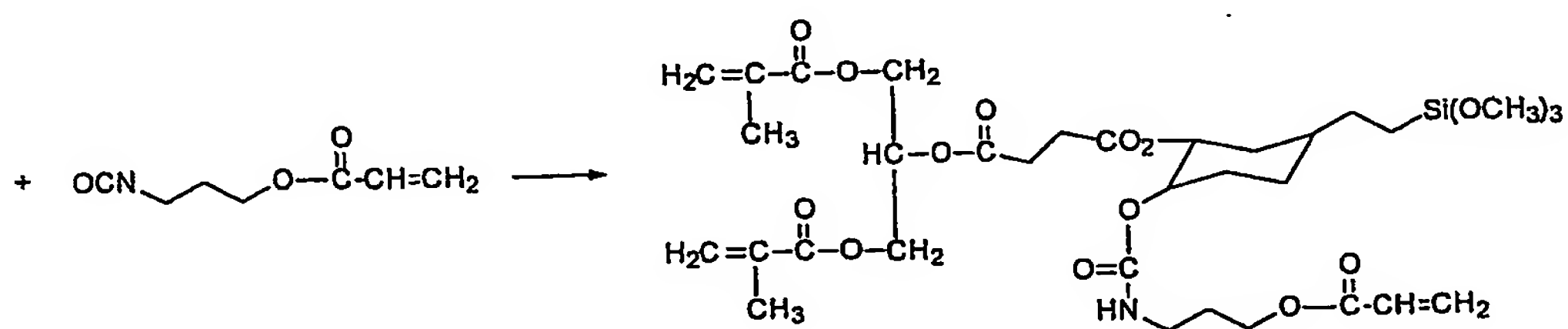
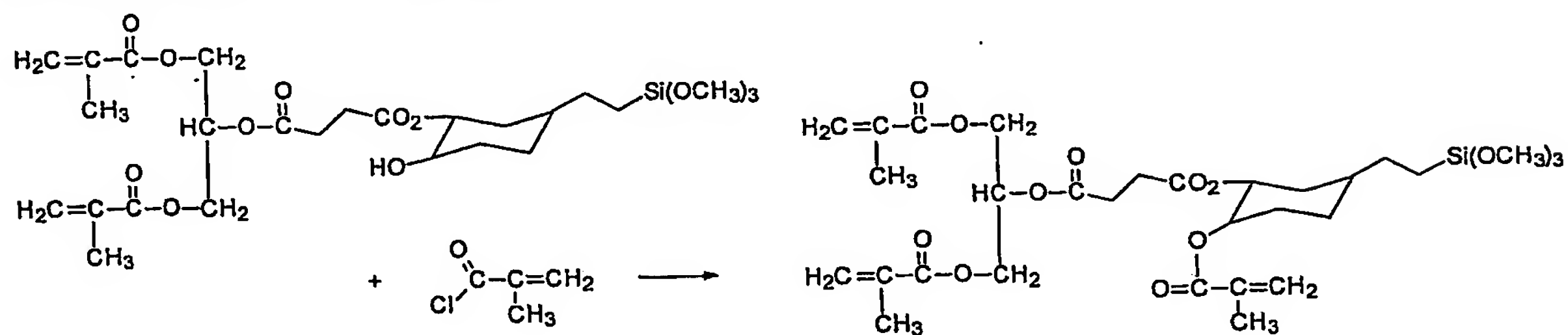
2a. Umsetzung obiger Hydroxyfunktionalisierter Dimethacrylate



3. Hydroxyfunktionalisiertes Dimethacrylat aus DE 4416857

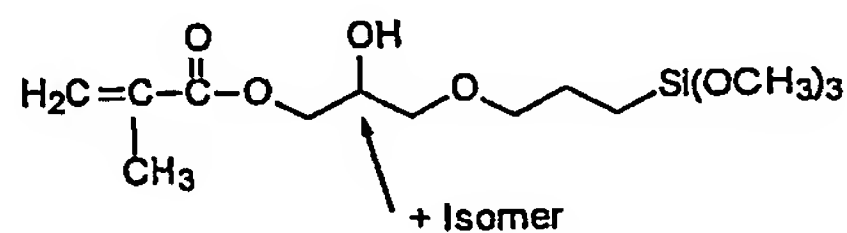
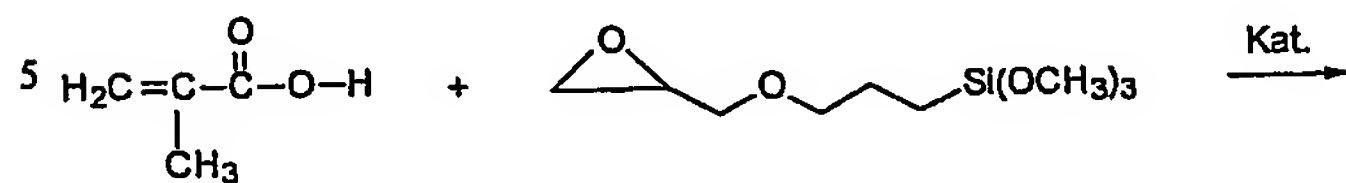


3a. Umsetzung obiger Hydroxyfunktionalisierter Dimethacrylate

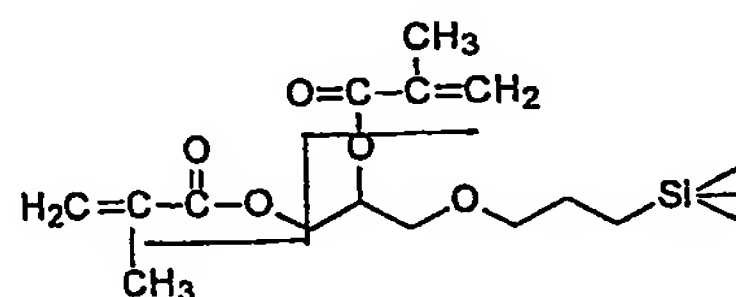
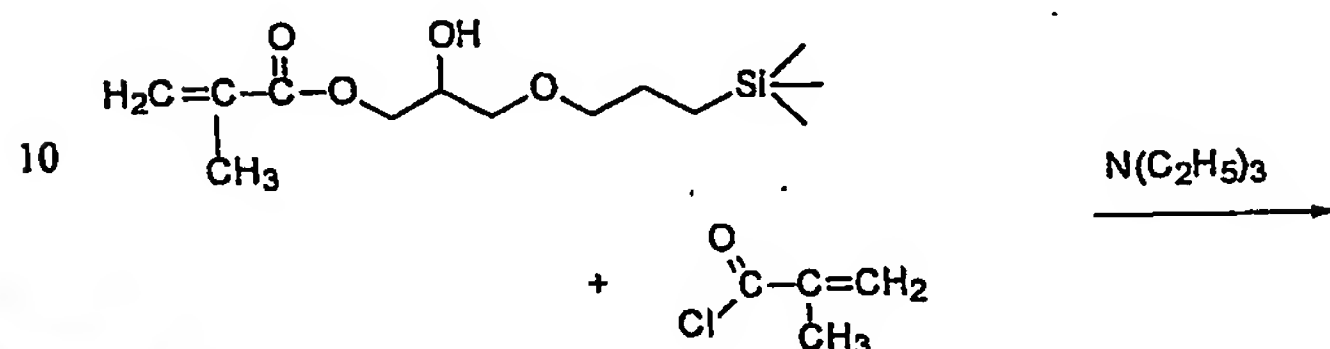




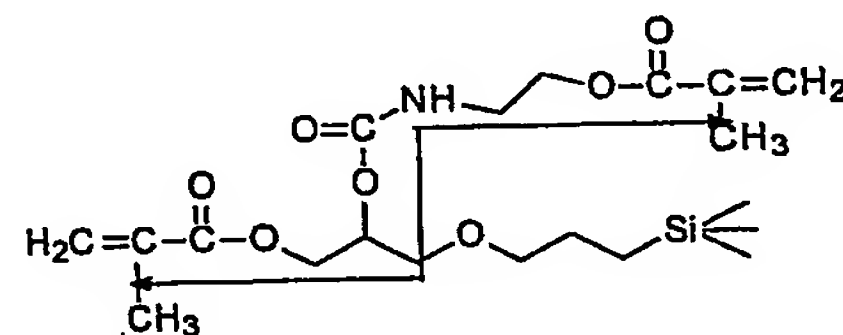
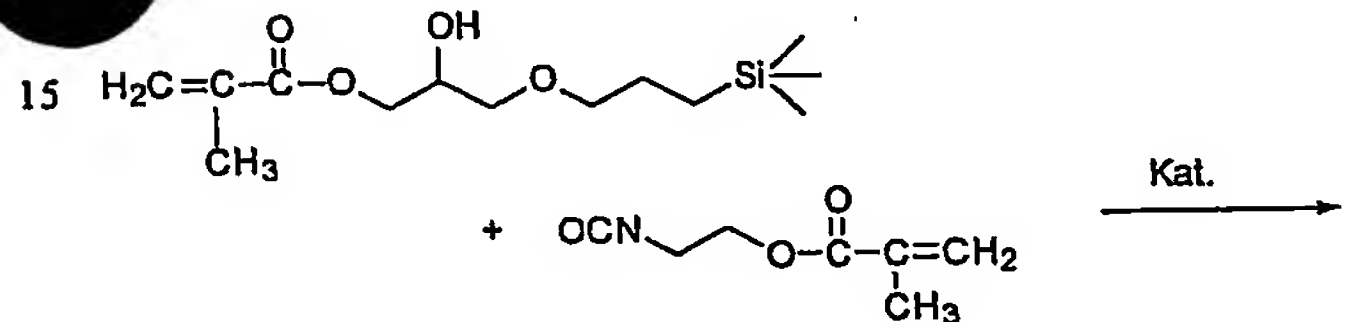
Nachstehend sei die Erfindung außerdem anhand einiger ausgewählter Umsetzungen illustriert:



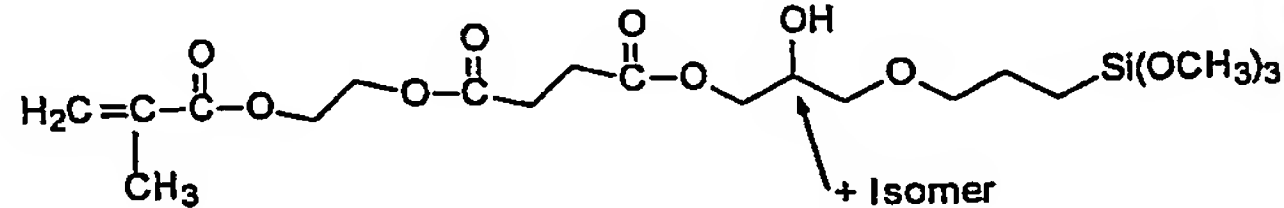
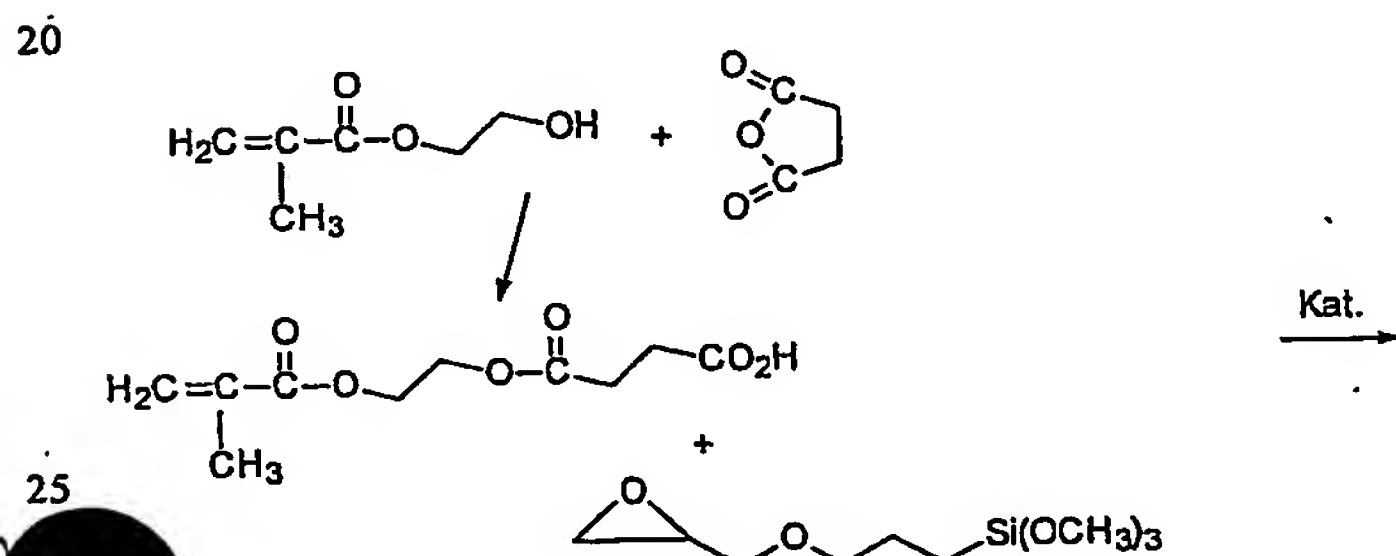
nur eine Doppelbindung + OH-Gruppe



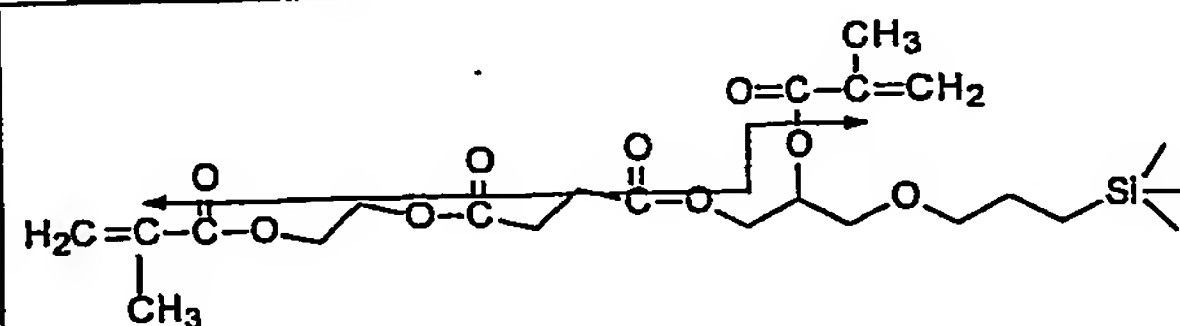
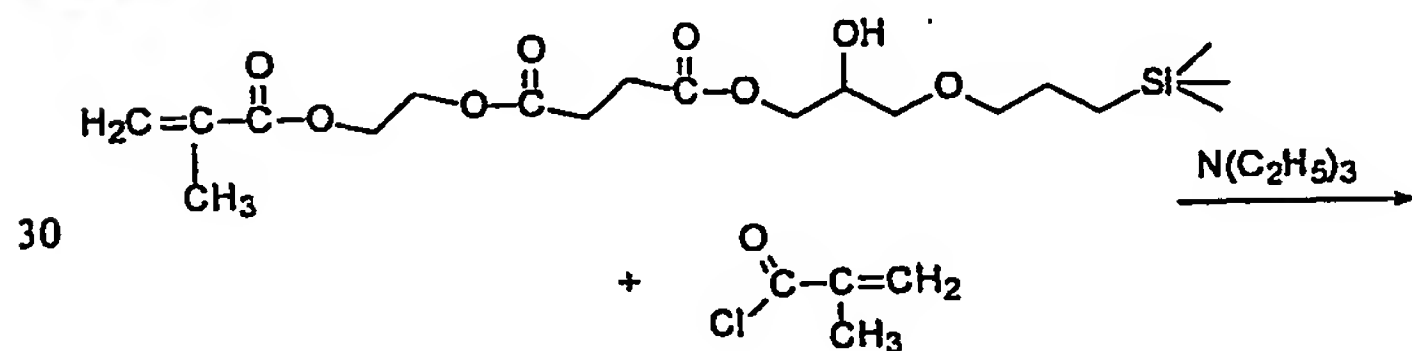
kurze Verbindungskette zwischen zwei Doppelbindungen



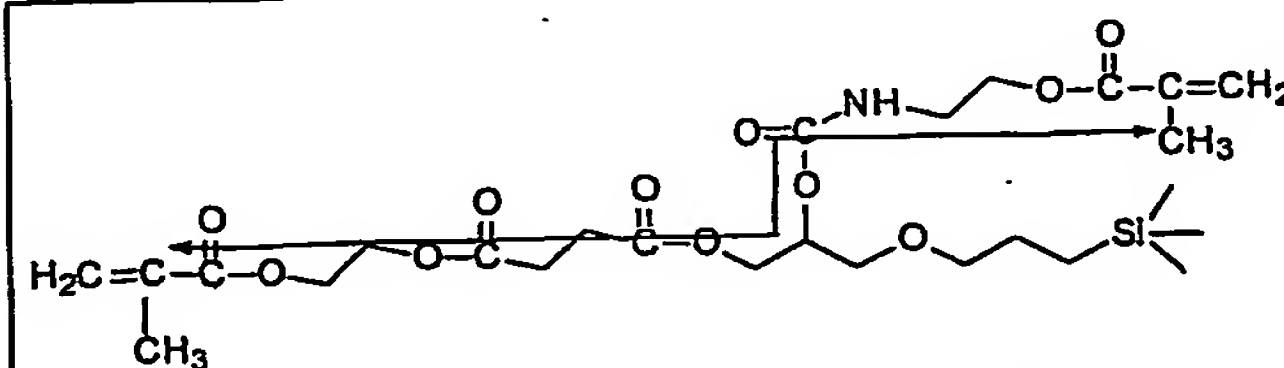
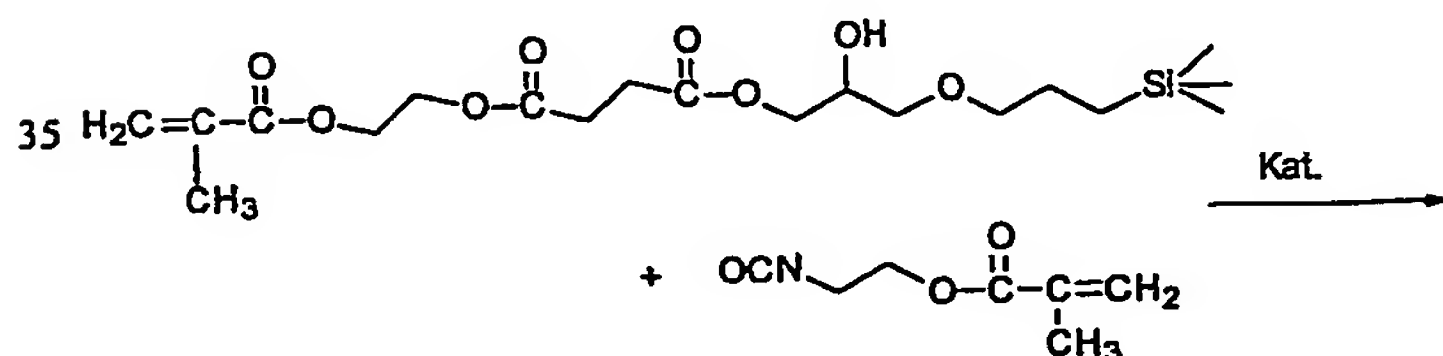
lange Verbindungskette zwischen zwei Doppelbindungen



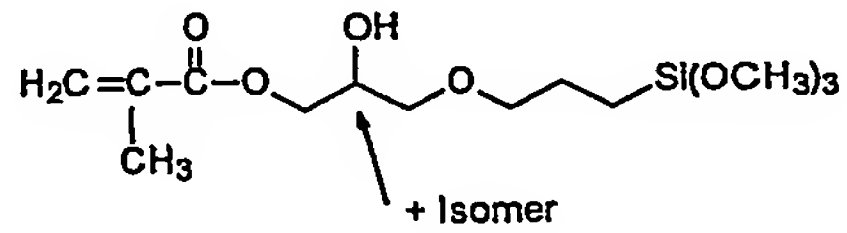
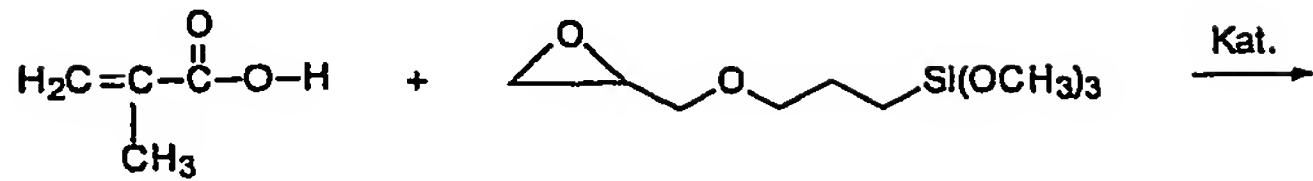
nur eine Doppelbindung + OH-Gruppe



sehr lange Verbindungskette zwischen zwei Doppelbindungen

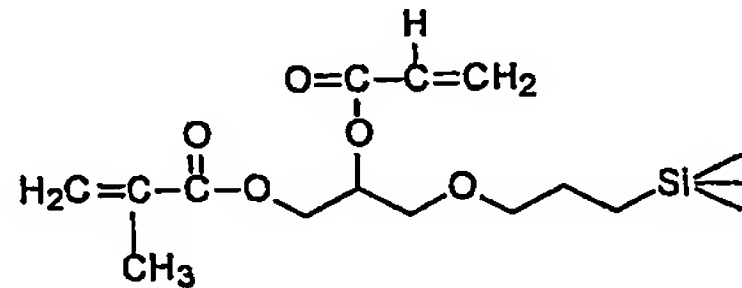
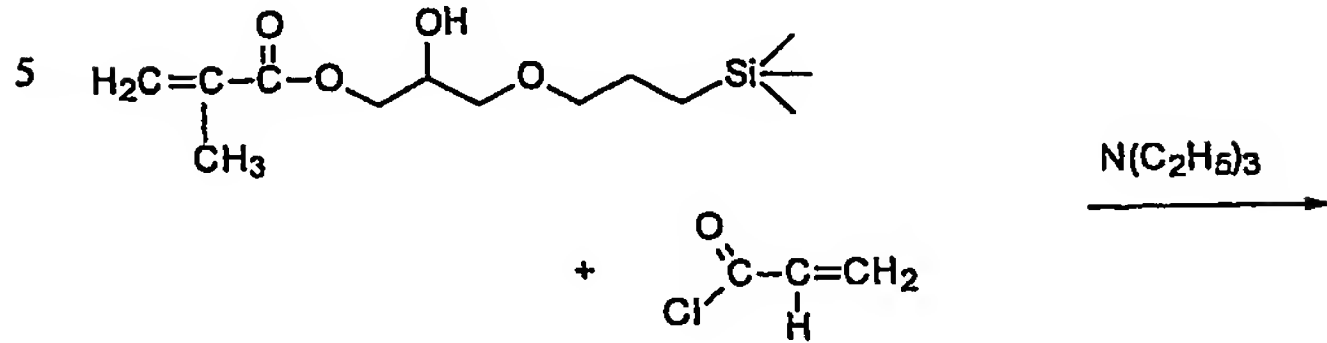


extrem lange Verbindungskette zwischen zwei Doppelbindungen

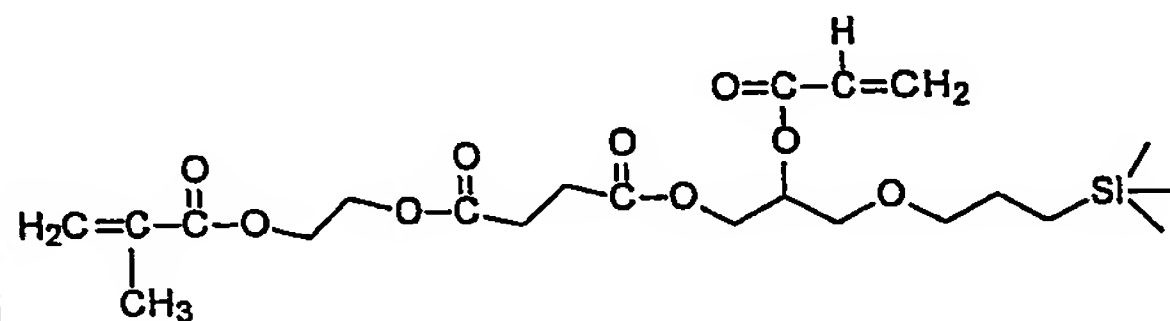
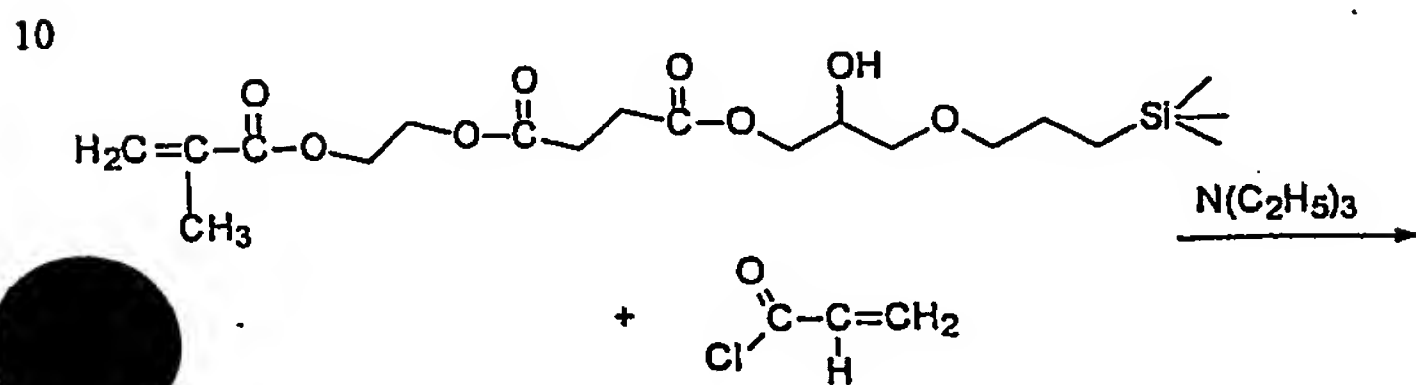


+ Isomer

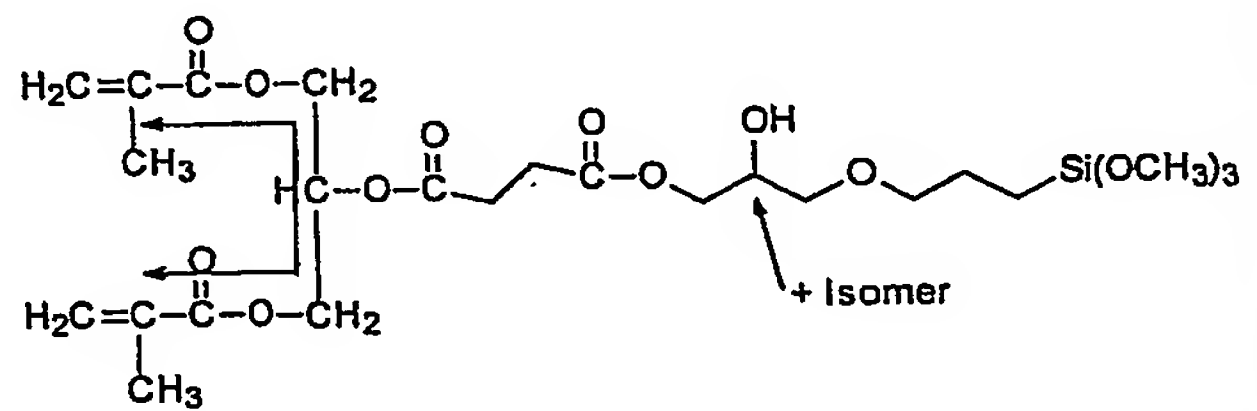
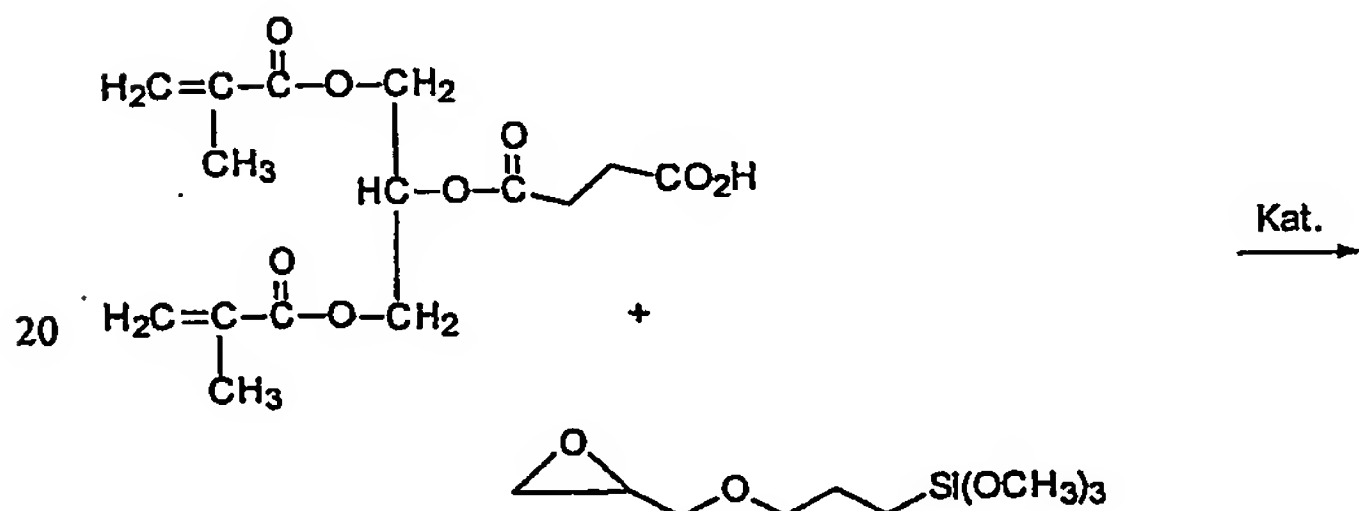
nur eine Doppelbindung + OH-Gruppe



kurze Verbindungskette zwischen 1 Methacryl- und 1 Acrylgruppe (unterschiedliche Reaktivität in einem Molekül)

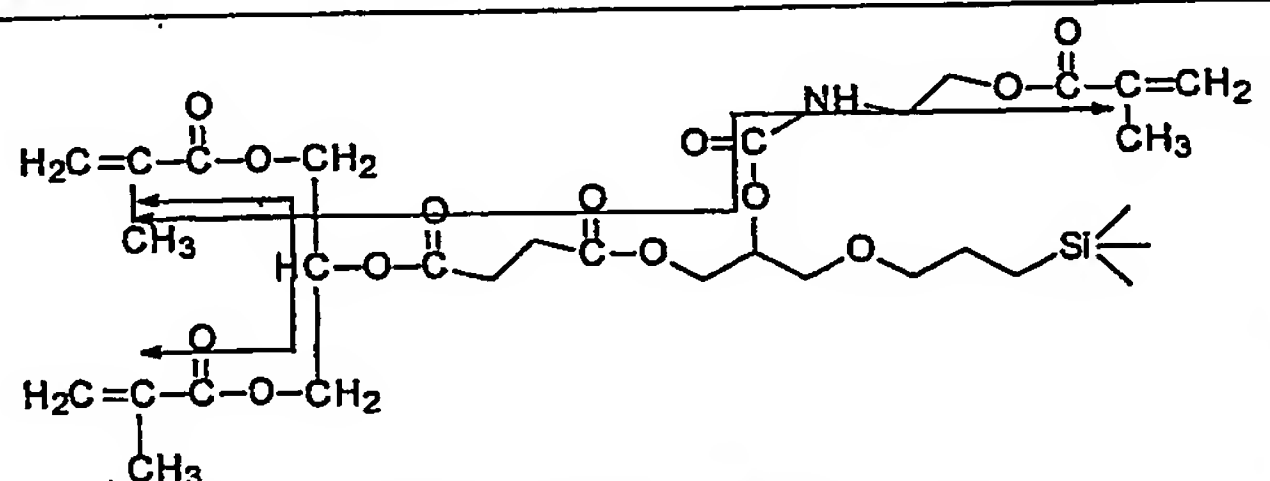
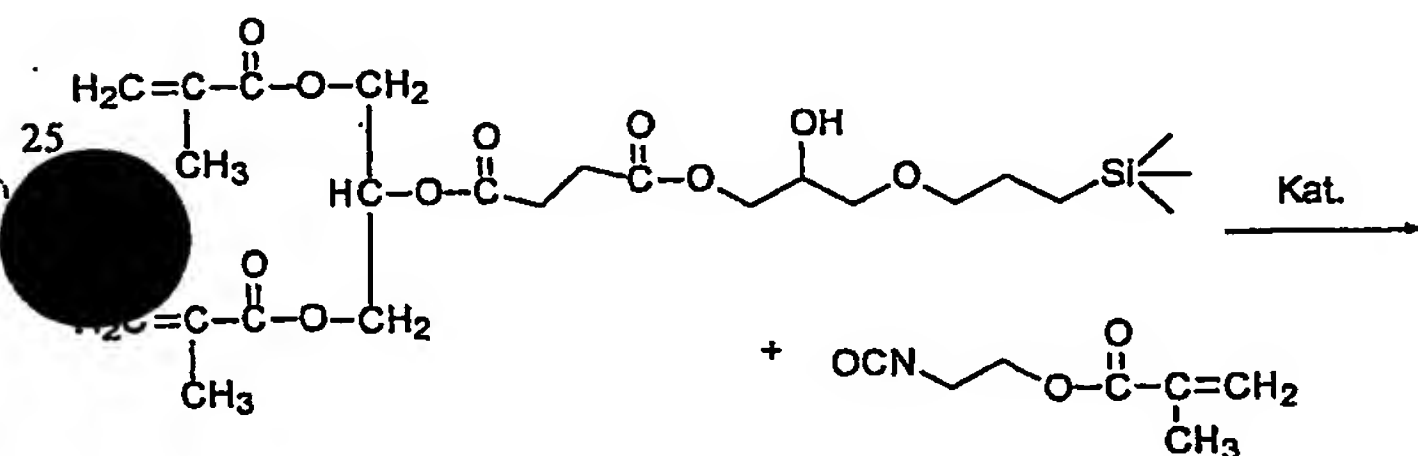


sehr lange Verbindungskette zwischen 1 Methacryl- und 1 Acrylgruppe (unterschiedliche Reaktivität in einem Molekül)



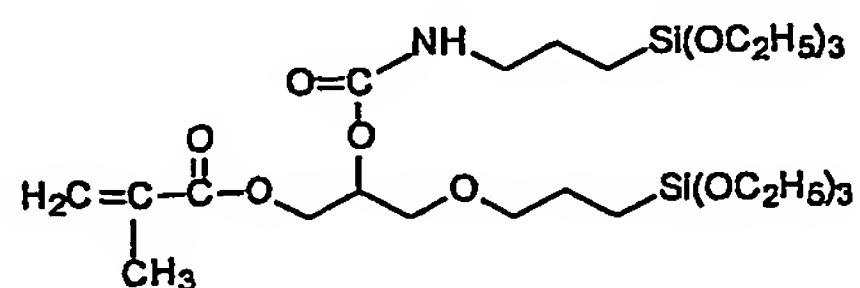
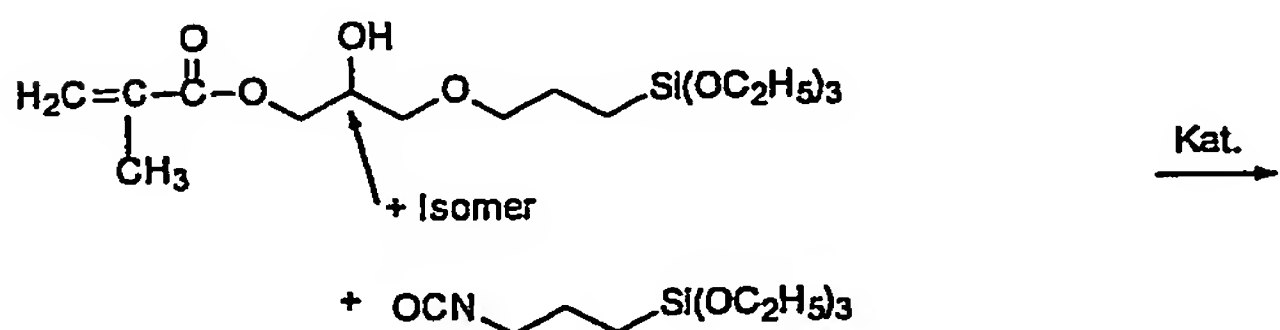
+ Isomer

kurze Verbindungskette zwischen zwei Methacrylgruppen + OH-Gruppe



kurze Verbindungskette zwischen zwei Methacrylgruppen und sehr lange Kette zur anderen Methacrylgruppe

30



eine Doppelbindung + 2 Triethoxygruppen

35

Die voranstehenden Schemata zeigen, dass sich erfindungsgemäß sehr variabel gebaute Silane erzeugen lassen. So können aus dem Produkt der Umsetzung von (Meth-)Acrylsäure mit Glymo, das aus der DE 44 16 857 C1 bekannt ist, Silane der Formel (Ia) hergestellt werden, die je nach eingesetztem Reaktionspartner relativ lange oder relativ kurze Verbindungsketten zwischen den Doppelbindungen der Reste B und B' aufweisen (siehe obere Hälfte der ersten Schemaseite). Aus demselben Patent ist das Produkt der Umsetzung von Hydroxyethylmethacrylat (HEMA), Bernsteinsäureanhydrid und Glymo bekannt. Dieses Produkt enthält einen einzigen Methacrylsäurerest sowie eine relativ weit entfernt davon stehende Hydroxygruppe. Daraus lassen sich erfindungsgemäß Verbindungen mit zwei doppelbindungshaltigen Gruppen herstellen, zwischen denen sehr lange bzw. extrem lange Verbindungsketten angeordnet sind. (siehe untere Hälfte der ersten Schemaseite). Die Möglichkeit, erfindungsgemäß auf relativ einfache Weise zu Verbindungen mit unterschiedlichen Resten B und B' zu gelangen, und zwar mit variablen Abständen zwischen den doppelbindungshaltigen Resten B und B', zeigen die Schemata auf der oberen Hälfte der zweiten Seite. Unterschiedliche Reste B und B' in den Molekülen verleihen deren organischem Teil eine gestufte Reaktivität, die u.a. eine z.B. für Photostrukturierungen nutzbare zweistufige organische Polymerisation ermöglichen (1. Stufe: Polymerisation der Reste B bzw. B' unter Erhalt eines noch nicht vollständig ausgehärteten Polymerisats oder Komposits, das/der einer weiteren Bearbeitung oder Photostrukturierung zugänglich ist; endgültige Vernetzung und Aushärtung durch die 2. Stufe der Polymerisation der Reste B' bzw. B). In der Mitte dieser Seite ist die Herstellung von Verbindungen mit zwei recht nahe beieinanderstehenden, doppelbindungshaltigen Gruppen (hier Methacrylatgruppen) sowie einer dritten, von diesen weiter entfernt angeordneten doppelbindungshaltigen Gruppe (hier ebenfalls eine Methacrylatgruppe, diese könnte jedoch auch eine andere doppelbindungshaltige Gruppe sein) anhand eines Beispiels gezeigt. Der untere Teil dieser Seite gibt ein Beispiel, wie man in einfacher Weise erfindungsgemäß zu Verbindungen gelangt, die an verschiedene Siliciumatome gebundene Reste mit identischer

Reaktivität aufweisen. Würde man in diesem Beispiel die Ethoxygruppe des Isocyanatsilans oder der Verbindung gemäß Formel (II) gegen eine andere hydrolyseempfindliche Gruppe mit anderen Hydrolyse-Reaktivitäten austauschen, würde man eine Verbindung der Formel (I) erhalten, die unterschiedliche Abgangsgruppen an zwei verschiedenen Siliciumatomen aufweist und damit einer gestuften Hydrolyse- und Kondensationsreaktion zugänglich wäre. Eine solche gestufte Reaktivität ist z.B. für eine einfach gesteuert zweistufige Hydrolyse- und Kondensationsreaktion nutzbar, wobei auf in derartigen Fällen sonst anzuwendende Vorsichtsmaßnahmen verzichtet werden kann. Insgesamt zeigt sich an diesen Beispielen, dass eine Zweistufigkeit im Bereich der anorganischen Vernetzung und damit der Herstellung von verarbeitbaren Harzen und/oder im Bereich der organischen Vernetzung und damit im Bereich der Endbearbeitung möglich ist.

Die erfindungsgemäßen Silane sowie noch nicht vollständig durchkondensierte Kieselsäurepoly(teil)kondensate können allein oder ggf. auch mit weiteren Silanen und/oder Kieselsäure(teil)kondensaten teilweise, weiter oder vollständig hydrolysiert und kondensiert werden. Hierfür eignen sich zum einen Silane und (Teil-)Vorkondensate daraus, die cokondensierbar, aber nicht copolymerisierbar sind, oder solche, die ebenfalls über polymerisierbare Gruppen verfügen. Selbstverständlich lassen sich die weiteren Komponenten auch bereits in einem früheren Stadium einarbeiten, wenn sie nicht mit Isocyanaten oder anderen reaktiven Komponenten unerwünschte Nebenreaktionen eingehen können. Dabei entstehen Kondensate mit ausschließlich den erfindungsgemäßen Struktureinheiten der Formel (Ib) oder anorganische Netzwerke mit Si-O-Si-Einheiten, die diese Struktureinheiten in Kombination mit anderen Einheiten enthalten. Wenn B' eine bereits einkondensierte oder einkondensierbare Silangruppe enthält, lässt sich ein Kondensat mit einer besonders dichten Si-O-Si-Struktur erhalten.

Den erfindungsgemäßen Silanen sowie noch nicht vollständig durchkondensierten Kieselsäurepoly(teil)kondensaten können statt



dessen oder zusätzlich copolymerisierbare Komponenten zugesetzt werden, bei denen es sich z.B. um radikalisch und/oder ionisch und/oder kovalent-nucleophil polymerisierbare Verbindungen handelt. Radikalisch polymerisierbare Verbindungen, die  
5 zugesetzt werden können, sind z.B. solche mit C=C-Doppelbindungen, wie z.B. Acrylate oder Methacrylate, wobei die Polymerisation über die C=C-Doppelbindungen erfolgt. Ionisch polymerisierbare Verbindungen, die zugesetzt werden können, enthalten z.B. Ringsysteme, die kationisch ringöffnend  
10 polymerisierbar sind, wie z.B. Spiroorthoester, Spiroorthocarbonate, bicyclische Spiroorthoester, Mono- oder Oligoepoxide oder Spirosilane, wie sie z.B. aus der DE 41 25 201 C1 bekannt sind. Es können aber auch Verbindungen zugesetzt werden, die sowohl ionisch als auch radikalisch polymerisierbar  
15 sind, wie z.B. Methacryloyl-Spiroorthoester. Diese sind radikalisch über die C=C-Doppelbindung und kationisch unter Ringöffnung polymerisierbar. Die Herstellung dieser Systeme ist z.B. im Journal f. prakt. Chemie, Band 330, Heft 2, 1988, S. 316-318 beschrieben. Ferner ist es z.B. möglich, andere bekannte  
20 Silan-gebundene cyclische Systeme zuzusetzen, die mit einpolymerisiert werden können. Solche Systeme sind z.B. solche, die Epoxide enthalten. Solche Systeme sind bei der Herstellung der Spiro-Silane in der DE 41, 25, 201 C1 beschrieben. Die vorgenannten Komponenten werden bei der Polymerisation der Harze  
25 über ihre organisch polymerisierbaren Gruppen einpolymerisiert, so dass man ein Copolymerisat aus erfindungsgemäßen Silanen und Copolymeren erhalten kann, dessen Silangruppen untereinander oder mit weiteren Gruppen hydrolytisch (teil-)kondensiert vorliegen.

30 Die erfindungsgemäßen Kieselsäurepoly(teil)kondensate besitzen vor allem dann, wenn B wie auch B' die Bedeutung einer geradkettigen oder verzweigten organischen Gruppe mit mindestens einer C=C-Doppelbindung und mindestens 2, vorzugsweise bis zu 50  
35 Kohlenstoffatomen hat (wobei diese beiden Reste natürlich nicht identisch sein müssen) und wenn Y vollständig oder zu hohen Anteilen umgesetzt ist, eine niedrige Matrixhydrophilie und nehmen dementsprechend in feuchter/nasser Umgebung nur wenig

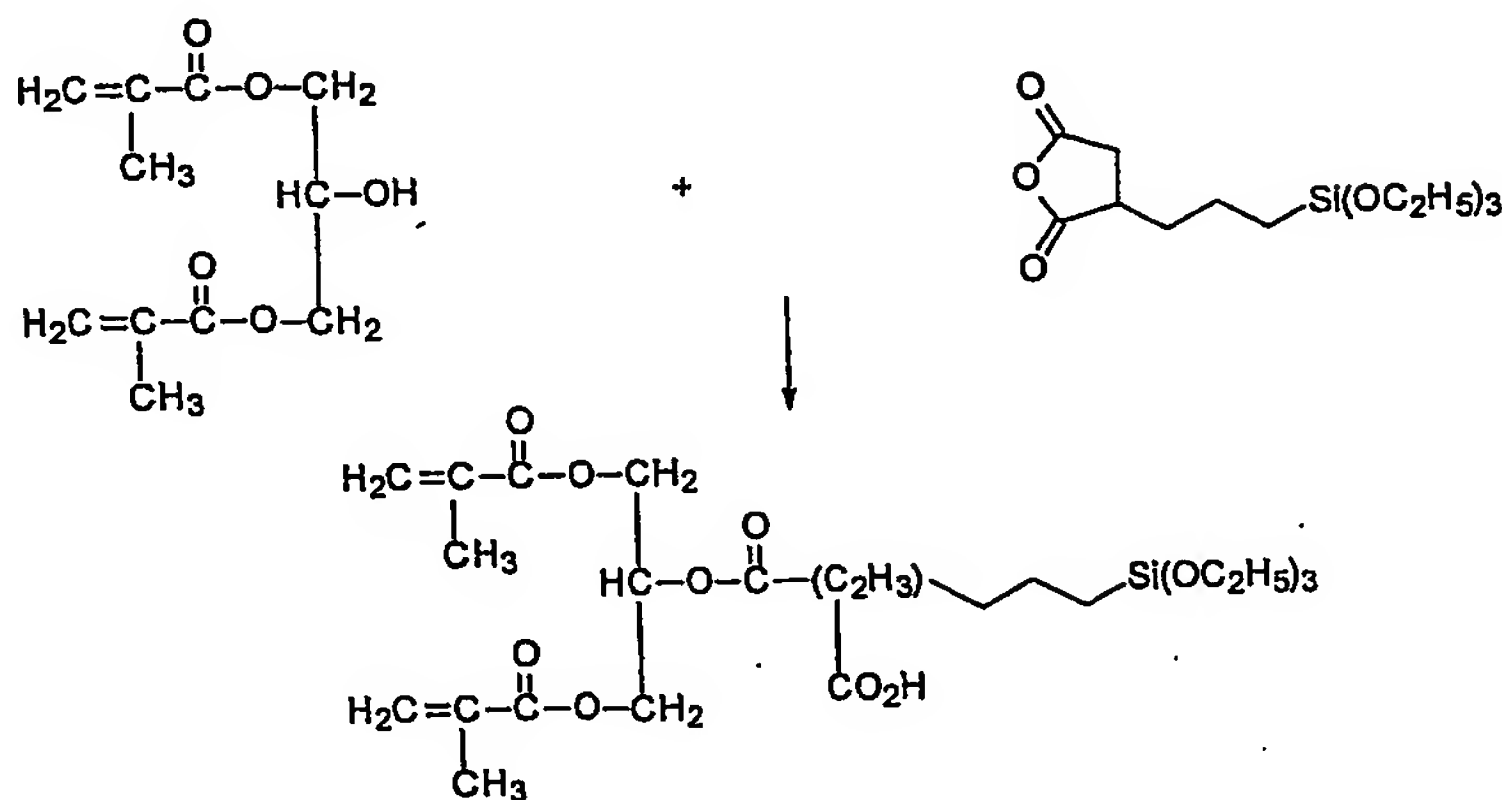
Wasser auf. Ihre Nassfestigkeit ist verbessert. Die Reste B und B' lassen sie sich allein oder in Mischungen und/oder Cokondensaten mit weiteren Bestandteilen wie den oben erwähnten in organische Polymerstrukturen einbauen, oder sie können über diese Gruppen als solche vernetzt werden. Aufgrund der zusätzlichen organischen, vernetzbaren Gruppe oder der zusätzlichen Silylgruppe, die B' trägt, lässt sich eine generelle Steigerung der Festigkeit der vernetzten Produkte erzielen. Deshalb eignen sich die erfindungsgemäßen Kondensate z.B. als bzw. zur Herstellung von Beschichtungs-, Füll-, Klebe-, Verguss- und Dichtungsmassen, Fasern, Partikeln, Folien, Bindemittel für keramische Partikel, oder als Einbettmassen, aus denen sich sehr kratzfeste Beschichtungen und Formkörper mit hoher Festigkeit fertigen lassen. Insbesondere kann man ungefüllte Polymermassen (Polymerisate) sowie (gefüllte) Komposite erhalten, die aus Harzen mit relativ geringer Viskosität erhalten wurden und die eine sehr geringe Schrumpfung aufweisen. Es sei auch auf solche Ausgestaltungen verwiesen, in denen die Harze bzw. Polymerisate oder Komposite monomerfrei und damit toxikologisch/ allergologisch unbedenklich sind, vor allem, wenn sie darüber hinaus eine hohe Nassfestigkeit besitzen (siehe oben).

In einer speziellen Ausgestaltung der Erfindung wird das Kieselsäurepoly(teil)kondensat vor der organischen Aushärtung mit einem oder mehreren Zusatz- und/oder Füllstoffen gemischt. Beispiele für Füllstoffe sind aus der Literatur bekannt. Verwendbar sind z.B. Makrofiller (z.B. aus Glas, Kermaik oder Quartz, Teilchengrößen zwischen 2 bis 50 µm), aber auch andere Füllstoffe aus verschiedenen Materialien und mit ggf. deutlich geringeren Durchmessern, darunter z.B. Hybridfiller oder Feinsthybridfiller. Vor allem bei Einsatz von Füllstoffen aus Glasmaterialien wie Glasfasern oder Glasparkeln erhält man Komposite, die nach organischer Aushärtung einen nur minimalen Schrumpf aufweisen. Beispiele für sonstige Zusatzstoffe sind Färbemittel (Farbstoffe oder Pigmente), Oxidationsinhibitoren, Verlaufsmittel, UV-Absorber, Stabilisatoren oder Zusätze zur Erhöhung der Leitfähigkeit (z.B. Graphitpulver, Silberpulver).

Nachstehend soll die Erfindung anhand von Ausführungsbeispielen näher erläutert werden.

### Beispiel 1

Dieses Beispiel erläutert die Herstellung einer Verbindung der Formel (II) mit b gleich 0:

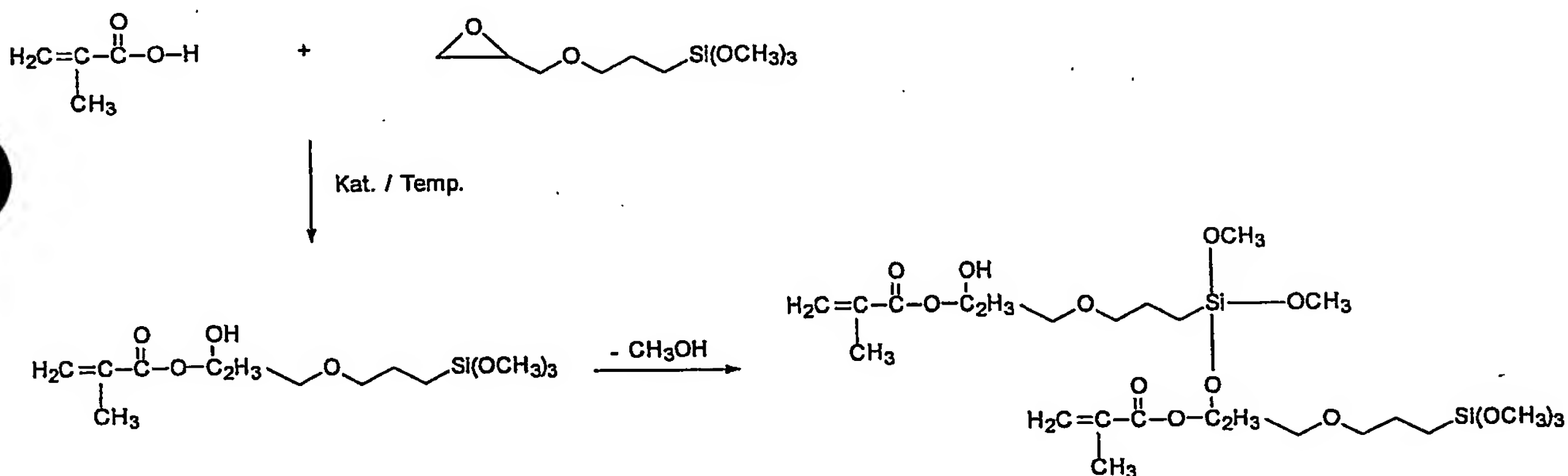


Zur Vorlage von 12,7 g (0,05 mol) Glycerin-1,3-dimethacrylat werden unter trockener Atmosphäre 17,0 g (0,05 mol) Triethoxysilylpropylbernsteinsäureanhydrid zugetropft. Die Umsetzung kann über die Abnahme der Anhydrid-Carbonylbande  $\nu_{as}(C=O) = 1786 \text{ cm}^{-1}$ ,  $\nu_{sy}(C=O) = 1864 \text{ cm}^{-1}$  verfolgt werden. Da ein Katalysator bzw. Lösungsmittel nicht zugesetzt werden muss, wird nach vollständiger Reaktion das gewünschte Produkt (flüssig) erhalten und kann ohne Reinigung für weitere Umsetzungen verwendet werden.

## Beispiel 2

Auch dieses Beispiel erläutert die Herstellung einer Verbindung der Formel (II) mit b gleich 0:

Umsetzung von 3-Glycidyloxypropyltrimethoxysilan (Glymo) mit Methacrylsäure (MAS)



20 Zur Vorlage von 143,2 g (0,606 mol) 3-Glycidyloxypropyltrimethoxysilan werden unter trockener Atmosphäre (Sauerstoff) ein Additionskatalysator, BHT als Stabilisator und anschließend 56,82 g (0,660 mol) Methacrylsäure zugetropft und bei ca. 80 °C gerührt (ca. 24 h). Die Umsetzung kann über die Abnahme der

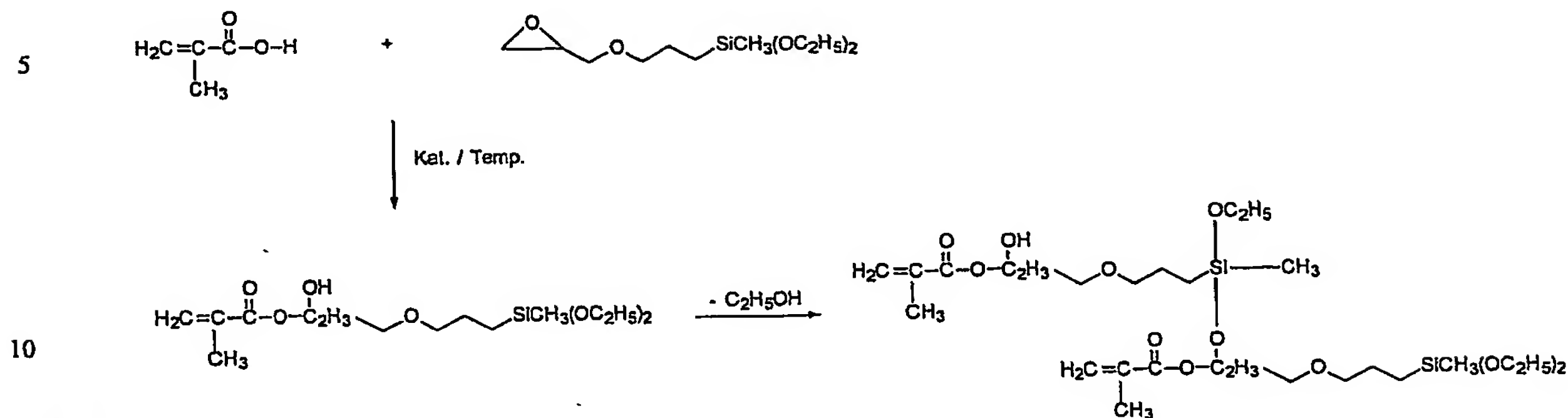
25 Carbonsäurekonzentration mittels Säuretitration sowie dem Epoxidumsatz mittels Ramanspektroskopie/Epoxid-titration verfolgt werden. Die für die Epoxidgruppe charakteristische Bande erscheint im Ramanspektrum bei 1256 cm<sup>-1</sup>. Der Epoxid- bzw.

30 Carbonsäureumsatz liegt bei ≥ 99 % bzw. ≥ 88 % (Folge des Carbonsäureüberschusses).

## Beispiel 3

35 Dieses Beispiel zeigt die Herstellung einer Verbindung der Formel (II) bzw. eines Umesterungsproduktes davon mit b gleich 1:

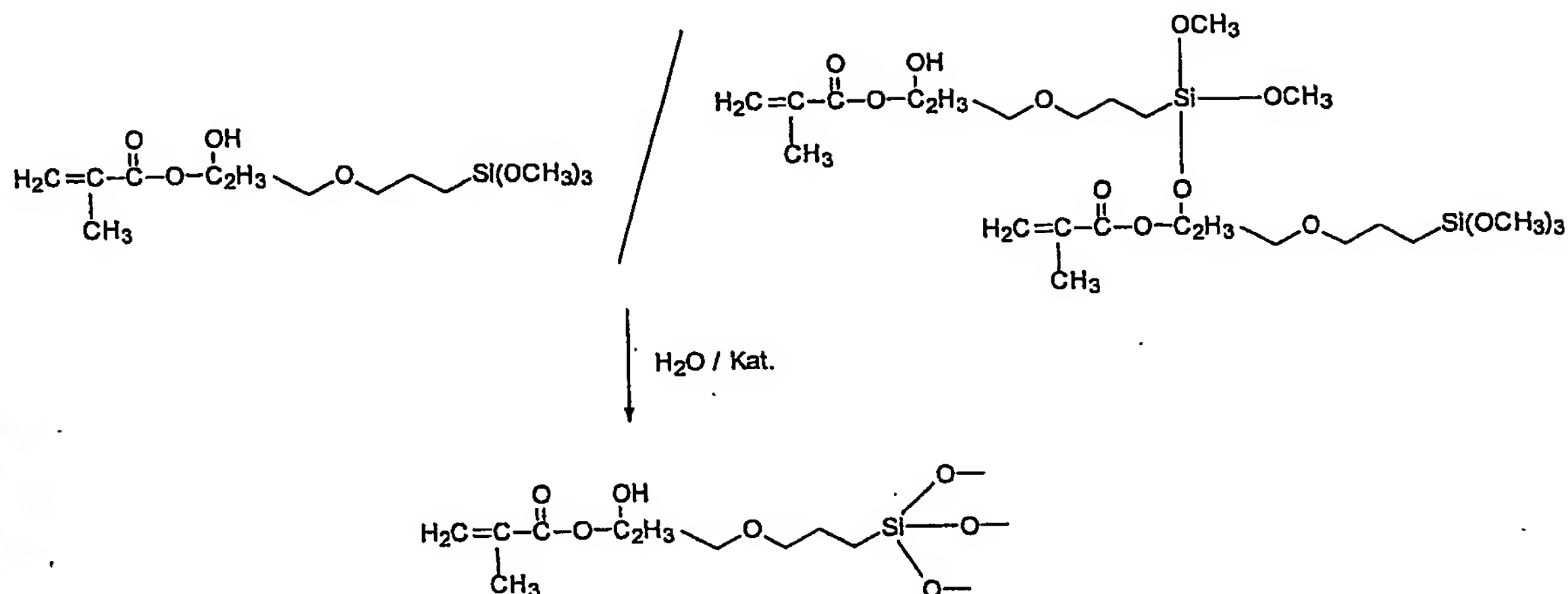
Umsetzung von 3-Glycidyloxypropylmethyldiethoxysilan mit  
Methacrylsäure (MAS):



15 Zur Vorlage von 125,0 g (0,503 mol) 3-Glycidyloxypropyl-  
methyldimethoxysilan werden unter trockener Atmosphäre  
(Sauerstoff) ein Additionskatalysator, BHT als Stabilisator und  
anschließend 47,35 g (0,550 mol) Methacrylsäure zugetropft und  
bei 80 °C gerührt (ca. 24 h). Die Umsetzung kann über die Abnahme  
der Carbonsäurekonzentration mittels Säuretitration sowie dem  
Epoxidumsatz mittels Ramanspektroskopie/Epoxidtitration verfolgt  
20 werden. Die für die Epoxidgruppe vom Epoxysilan  
charakteristische Bande erscheint im Ramanspektrum bei 1256 cm<sup>-1</sup>.  
Der Epoxid- bzw. Carbonsäureumsatz liegt bei ≥ 99 % bzw. ≥ 89 %  
(Folge des Carbonsäureüberschusses)

# Beispiel 4

Dieses Beispiel zeigt die Hydrolyse- und Kondensationsreaktion des Produktes aus Beispiel 2:



15

20

25

Nach Zugabe von Essigester (1000 ml/mol Silan) und H<sub>2</sub>O zur Hydrolyse mit NH<sub>4</sub>F als Kat. wird bei RT gerührt. Der Verlauf der Hydrolyse wird jeweils durch Wassertitration verfolgt. Die Aufarbeitung erfolgt nach ca. 2 -tägigem Rühren bei RT durch mehrmaliges Ausschütteln mit wäßriger NaOH und anschließendem Ausschütteln mit Wasser und Filtration über hydrophobierten Filter. Nach Zusatz von BHT und 0,02 mol 1,6-Hexandiol-dimethacrylat wird zunächst bei 40°C abrotiert und anschließend mit Ölpumpenvakuum abgezogen, um Alkohol- und Wasserreste zu entfernen. Es resultiert ein flüssiges Harz mit einer Viskosität von ca. 15 - 19 Pa.s bei 25 °C (stark abhängig von den genauen Hydrolyse- und Aufarbeitungsbedingungen) und 0,00 mmol CO<sub>2</sub>H/g (keine freien Carboxylgruppen mehr).

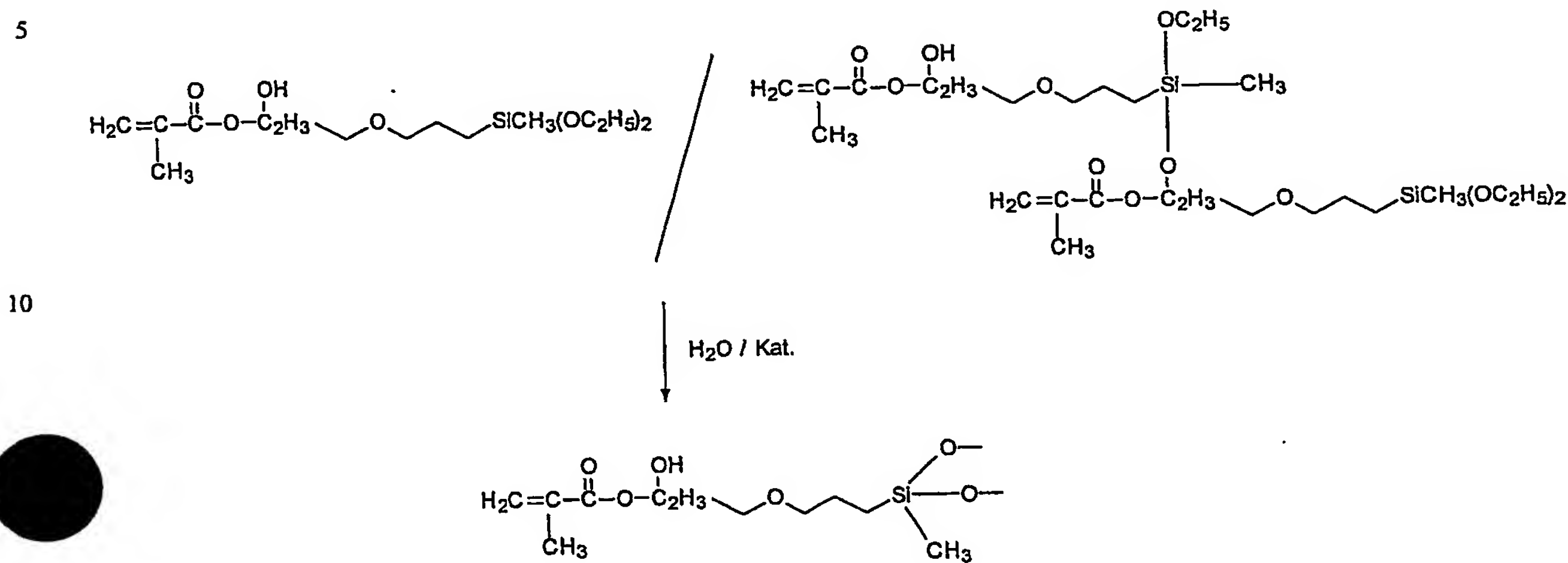
# Beispiel 5

Das Produkt des Beispiels 1 wurde in vergleichbarer Weise hydrolysiert und aufgearbeitet.



# Beispiel 6.

Dieses Beispiel zeigt die Hydrolyse- und Kondensationsreaktion des Produktes aus Beispiel 3.



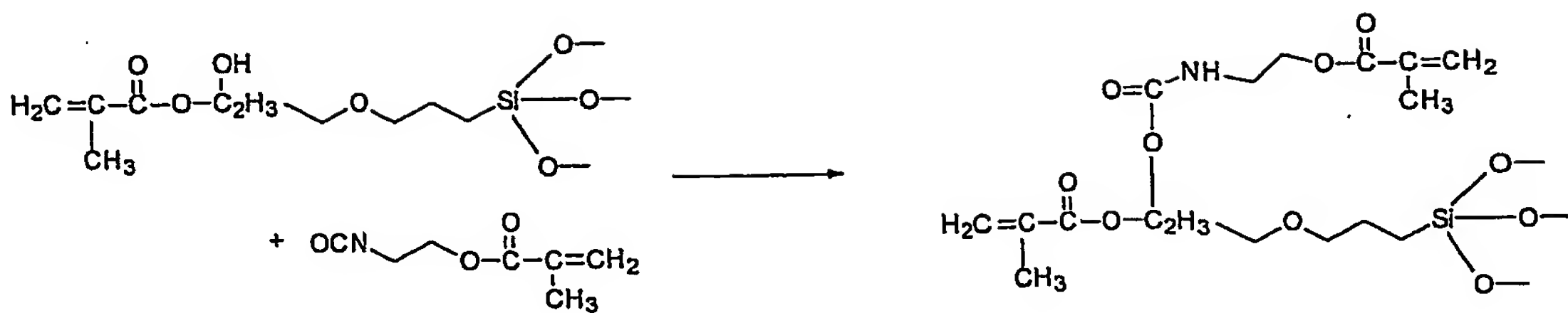
Nach Zugabe von Essigester (1000 ml/mol Silan) und H<sub>2</sub>O zur Hydrolyse mit HCl als Kat. wird bei 30 °C gerührt. Der Verlauf der Hydrolyse wird jeweils durch Wassertitration verfolgt. Die

20 Aufarbeitung erfolgt nach mehrtägigem Rühren durch mehrmaliges Ausschütteln mit wäßriger NaOH und anschließendem Ausschütteln mit Wasser und Filtration über einen hydrophobierten Filter. Es wird zunächst abrotiert, dann werden restliche Lösemittel

25 ein flüssiges Harz ohne Einsatz von Aktivverdünneren (Monomeren) mit einer sehr geringen Viskosität von ca. 4 - 6 Pa.s bei 25 °C und 0,00 mmol CO<sub>2</sub>H/g (= keine freien Carboxylgruppen mehr).

# 30 Beispiel 7

Dieses Beispiel zeigt die Addition eines Isocyanats im Überschuss an die Hydroxygruppe des Produktes von Beispiel 4.



5

Zur Vorlage von 18,6 g (0,06 mol) obigen Harzes werden unter trockener Atmosphäre (Sauerstoff) bei RT unter Rühren 6,52 g (Unterschuss: 0,042 mol) Methacrylsäureisocyanatoethylester zugetropft und bei RT gerührt (ca. 3 h). Die Umsetzung kann über die Abnahme der OCN-Bande mittels IR-Spektrum verfolgt werden. Die für die OCN-Gruppe charakteristische Bande erscheint im IR-Spektrum bei 2272 cm<sup>-1</sup>. Nach 1 h Ölpumpenvakuum resultiert ein zähflüssiges Harz.

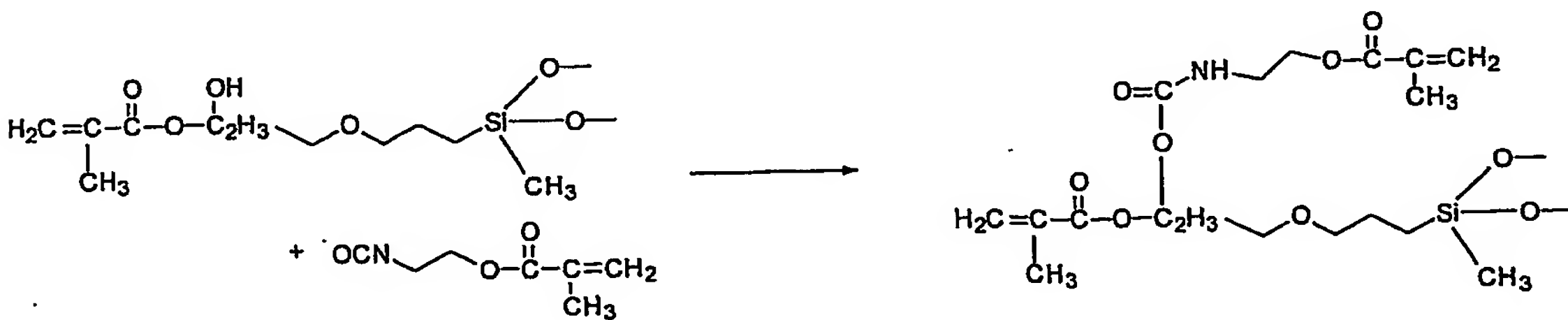
20

IR-Daten: V(OH ← Edukt) ≈ 3500 cm<sup>-1</sup> (Rest-OH, da nur mit 0,7 Molanteilen Methacrylsäure-isocyanatoethylester umgesetzt wurde)  
V(NH ← Urethan) ≈ 3370 cm<sup>-1</sup>  
V(C=O ← Methacrylat/Urethan) ≈ 1721 cm<sup>-1</sup>  
V(C=C ← Methacrylat) ≈ 1638 cm<sup>-1</sup>

### Beispiel 8

25

Dieses Beispiel zeigt die Addition eines Isocyanats an das Produkt aus Beispiel 5



30

Zur Vorlage von 21,2 g (0,08 mol) obigen Harzes werden unter trockener Atmosphäre (Sauerstoff) bei RT unter Rühren 8,69 g (0,056 mol) Methacrylsäureisocyanatoethylester zugetropft und bei 30 °C gerührt. Die Umsetzung kann über die Abnahme der OCN-

35

Bande mittels IR-Spektrum verfolgt werden. Die für die OCN-Gruppe charakteristische Bande erscheint im IR-Spektrum bei 2272  $\text{cm}^{-1}$ . Es resultiert ein zähflüssiges Harz mit einer Viskosität von ca. 18 -20 Pa.s bei 25 °C (stark abhängig von den genauen Synthese- und Aufarbeitungsbedingungen insbesondere auch der Vorstufen).

IR-Daten:  $V_{(\text{OH} \leftarrow \text{Edukt})} \approx 3500 \text{ cm}^{-1}$  (Rest-OH, da nur mit 0,7 Molanteilen Methacrylsäure-isocyanatoethylester umgesetzt wurde)  
 $V_{(\text{NH} \leftarrow \text{Urethan})} \approx 3373 \text{ cm}^{-1}$   
 $V_{(\text{C=O} \leftarrow \text{Methacrylat/Urethan})} \approx 1721 \text{ cm}^{-1}$   
 $V_{(\text{C=C} \leftarrow \text{Methacrylat})} \approx 1638 \text{ cm}^{-1}$

#### 15 Beispiel 9

Dieses Beispiel beschreibt die Polymerisation der organisch polymerisierbaren Gruppen des Kondensates aus Beispiel 7.

20 Harz aus Beispiel 7 mit 1% Lucirin TPO wird in eine Stäbchenform ( $2 \times 2 \times 25 \text{ mm}^3$ ) gegeben. Die Methacrylatgruppen werden im Rahmen einer photoinduzierten radikalischen Polymerisation umgesetzt, wobei das Harz aushärtet. Mittels 3-Punktbiegeversuch wird nach 1,5 Tagen Lagerung unter Luft bzw. Wasser bei 40 °C das E-Modul sowie die Bruchfestigkeit der resultierenden Stäbchen bestimmt.

25 E-Modul = 2,80 GPa (Luft) / 2,50 GPa (Wasser)  
Bruchfestigkeit = 109 MPa (Luft) / 89 MPa (Wasser)

30 Mittels Auftriebsmethode werden die folgenden Schrumpfungswerte im Rahmen einer photoinduzierten radikalischen Polymerisation erhalten:

4,3 Vol.-% / 5,3 Vol.-% nach Lagerung von 15 min / 1 Tg

35 Es resultieren somit ausgezeichnete Daten, weshalb das Produkt z.B. als Matrixsystem für zu verschiedenen Zwecken einsetzbare Komposite verwendet werden kann.

### Vergleichsbeispiel 1:

Harz aus Beispiel 4 mit 1% Lucirin TPO wird in eine Stäbchenform (2 x 2 x 25 mm<sup>3</sup>) gegeben. Die Methacrylatgruppen werden im Rahmen einer photoinduzierten radikalischen Polymerisation umgesetzt, wobei das Harz aushärtet. Mittels 3-Punktbiegeversuch wird nach 1,5 Tagen Lagerung unter Luft bzw. Wasser bei 40 °C das E-Modul sowie die Bruchfestigkeit der resultierenden Stäbchen bestimmt.

E-Modul = 2,21 GPa (Luft) / 1,64 GPa (Wasser)  
Bruchfestigkeit = 89 MPa (Luft) / 55 MPa (Wasser)

Mittels Auftriebsmethode werden die folgenden Schrumpfungswerte im Rahmen einer photoinduzierten radikalischen Polymerisation erhalten:

5,3 Vol.-% / 6,4 Vol.-% nach Lagerung von 15 min / 1 Tg

Es resultieren erwartungsgemäß deutlich geringere mechanische Kenndaten (verursacht durch die Anwesenheit nur einer Doppelbindung pro Silaneinheit), ein deutlich stärkerer Abfall durch Wasserlagerung und überraschenderweise eine um ca. 1 Vol.-% höhere Schrumpfung als auf Basis des Harzsystems des Beispiels 6.

### Beispiel 10

Dieses Beispiel zeigt die Herstellung eines Komposits auf Basis des Harzsystems aus Beispiel 6

In das Harz aus Beispiel 6 werden 1% Lucirin TPO gelöst, und eine Füllstoffmischung (77 Gew.-%), bestehend aus einem Feinstglas (silanisiert) von der Fa. Schott (durchschnittlich ca. 3 µm Durchmesser) und Aerosil 8200 (teilsilanisiert) (von der Fa. Degussa), wird eingearbeitet. Das resultierende, gut verarbeitbare Komposit wird in eine Stäbchenform (2 x 2 x 25 mm<sup>3</sup>) gegeben und im Rahmen einer photoinduzierten radikalischen Polymerisation ausgehärtet. Mittels 3-Punktbiegeversuch wird nach 1,5 Tagen Lagerung unter Luft bzw. Wasser bei 40 °C das E-

Modul sowie die Bruchfestigkeit der resultierenden Stäbchen bestimmt.

E-Modul = 13,3 GPa (Luft) / 12,4 GPa (Wasser)

5 Bruchfestigkeit = 145 MPa (Luft) / 135 MPa (Wasser)  
(Einzelwerte jeweils noch deutlich höher)

Im Rahmen einer photoinduzierten radikalischen Polymerisation werden die folgenden Schrumpfungswerte erhalten:

10 Mittels Auftriebsmethode → 2,1 Vol.-% / 2,4 Vol.-% nach Lagerung von 15 min / 1 Tg

Es resultieren somit ausgezeichnete Daten schon mit einer nicht optimierten Standardfüllstoffmischung bei vergleichsweise noch  
15 geringem Füllstoffgehalt.

#### Beispiel 11

Dieses Beispiel beschreibt die Polymerisation der organisch  
20 polymerisierbaren Gruppen des Kondensates aus Beispiel 8

Harz aus Beispiel 8 mit 1% Lucirin TPO wird in eine Stäbchenform (2 x 2 x 25 mm<sup>3</sup>) gegeben. Die Methacrylatgruppen werden im Rahmen einer photoinduzierten radikalischen Polymerisation umgesetzt, wobei das Harz aushärtet. Mittels 3-Punktbiegeversuch wird nach  
25 1,5 Tagen Lagerung unter Luft bzw. Wasser bei 40 °C das E-Modul sowie die Bruchfestigkeit der resultierenden Stäbchen bestimmt.

E-Modul ca. 2,30 GPa (Luft) / 2,10 GPa (Wasser)

30 Bruchfestigkeit ca. 104 MPa (Luft) / 82 MPa (Wasser)

Mittels Auftriebsmethode werden die folgenden Schrumpfungswerte im Rahmen einer photoinduzierten radikalischen Polymerisation erhalten:

35 4,3 Vol.-% / 5,1 Vol.-% nach Lagerung von 15 min / 1 Tg

Es resultieren somit ausgezeichnete Daten, weshalb ein Einsatz z. B. als monomerfreies Matrixsystem für Komposite möglich ist.



## Vergleichsbeispiel 2:

Das Kondensat aus Beispiel 5 mit 1% Lucirin TPO wird in eine  
5 Stäbchenform ( $2 \times 2 \times 25 \text{ mm}^3$ ) gegeben. Die Methacrylatgruppen  
werden im Rahmen einer photoinduzierten radikalischen  
Polymerisation umgesetzt, wobei das Harz aushärtet. Mittels 3-  
Punktbiegeversuch wird nach 1,5 Tagen Lagerung unter Luft bzw.  
Wasser bei  $40^\circ\text{C}$  das E-Modul sowie die Bruchfestigkeit der  
10 resultierenden Stäbchen bestimmt.

E-Modul	ca. 1,74 GPa (Luft) / 1,13 GPa (Wasser)
Bruchfestigkeit	ca. 70 MPa (Luft) / 50 MPa (Wasser)

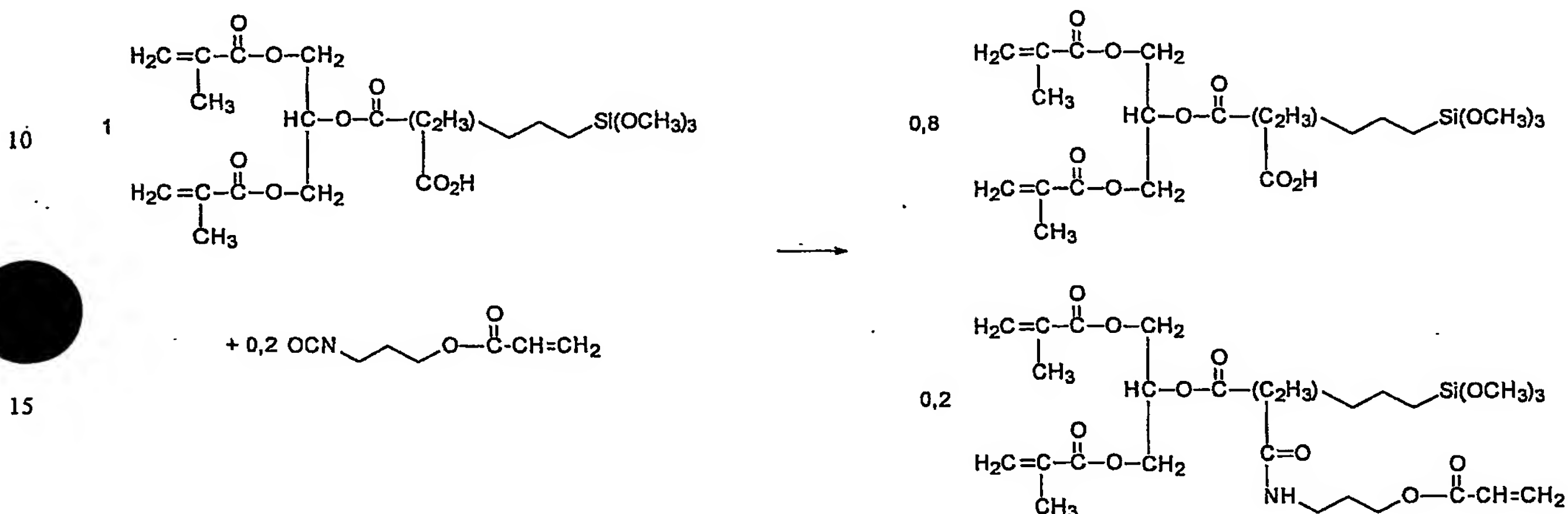
15 Mittels Auftriebsmethode werden die folgenden Schrumpfungswerte  
im Rahmen einer photoinduzierten radikalischen Polymerisation  
erhalten:

5,4 Vol.-% / 6,0 Vol.-% nach Lagerung von 15 min / 1 Tg

20 Es resultieren deutlich geringere mechanische Kenndaten, ein  
deutlich stärkerer Abfall durch Wasserlagerung und  
überraschenderweise eine um ca. 1 Vol.-% höhere Schrumpfung als  
beim Produkt des Beispiels 11.

## Beispiel 12

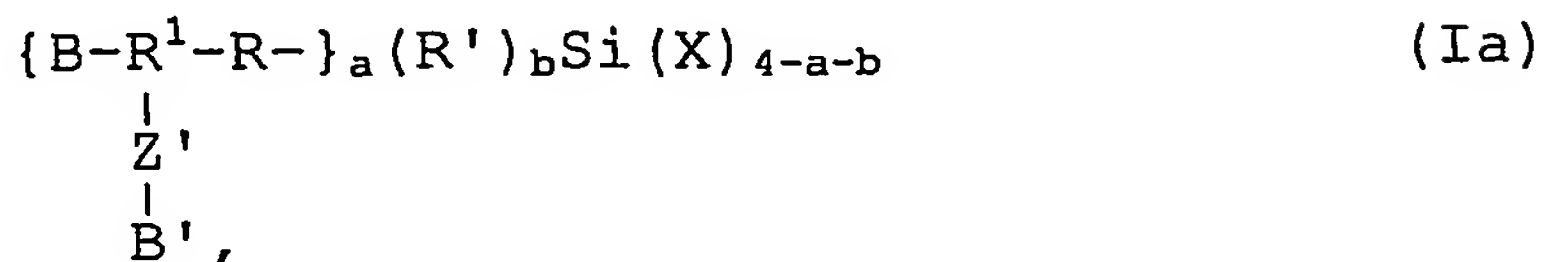
Dies ist ein Beispiel, das eine Isocyanataddition an ein Silan  
der Formel (II) im Verhältnis 1:0,2 und damit die  
5 Voraussetzungen für die Herstellung eines Kieselsäurepoly(teil)-  
kondensats aufzeigt, das noch freie Hydroxygruppen besitzt.



Zur Vorlage von 0,10 mol der Verbindung aus Beispiel 1 und  
20 Diazabicyclooctan als Katalysator werden unter trockener  
Atmosphäre (Sauerstoff) bei 40 °C unter Rühren 3,10 g (0,02 mol)  
Methacrylsäureisocyanatoethylester zugetropft und bei 40 °C  
gerührt. Die Umsetzung kann über die Abnahme der OCN-Bande  
mittels IR-Spektrum verfolgt werden. Die für die OCN-Gruppe  
25 charakteristische Bande erscheint im IR-Spektrum bei 2272 cm<sup>-1</sup>.  
Die erfolgreich durchgeführte Synthese kann mit Hilfe von <sup>1</sup>H-,  
<sup>13</sup>C- und FT-IR-Spektroskopie nachgewiesen werden. Das  
resultierende, flüssige Produkt, bestehend aus Edukt mit 2  
Doppelbindungen und Umsetzungsprodukt mit 3 Doppelbindungen kann  
30 durch übliche Aufarbeitung isoliert oder, bevorzugt, direkt nach  
üblichen Verfahren der weiteren Umsetzung, d. h. der  
Hydrolyse/Kondensation der Si(OCH<sub>3</sub>)<sub>3</sub>-Gruppen, unterworfen werden.

# Ansprüche:

1. Silan der nachstehenden Formel (Ia),



worin die Reste und Indices die folgende Bedeutung haben:

R ist eine offenkettige und/oder cyclische Alkylen-, Arylen- oder Alkylenarylengruppe mit jeweils 1 bis 10

Kohlenstoffatomen, die durch eine oder mehrere Sauerstoff- oder Schwefelatome oder Carboxyl- oder Aminogruppen unterbrochen sein oder solche Atome/Gruppen an ihrem dem Siliciumatom abgewandten Ende tragen kann;

R<sup>1</sup> ist eine mit Z' substituierte, offenkettige und/oder cyclische Alkylen-, Arylen- oder Alkylenarylengruppe mit jeweils 1 bis 10 Kohlenstoffatomen, die durch eine oder mehrere Sauerstoff- oder Schwefelatome oder Carboxyl- oder Aminogruppen unterbrochen sein oder solche Atome/Gruppen an einem ihrer Enden tragen kann,

R' ist eine offenkettige und/oder cyclische Alkyl-, Alkenyl-, Aryl-, Alkylaryl- oder Arylalkylgruppe mit vorzugsweise 1 bis 20 Kohlenstoffatomen,

B und B' sind gleich oder verschieden; beide Reste können die Bedeutung einer geradkettigen oder verzweigten, organisch polymerisierbaren Gruppe mit mindestens einer C=C-

Doppelbindung und mindestens 2 Kohlenstoffatomen haben, B' kann statt dessen aber auch -R<sup>2</sup><sub>a</sub>SiX<sub>4-a</sub> oder -R<sup>2</sup><sub>a</sub>R'<sub>b</sub>SiX<sub>4-a-b</sub> bedeuten, worin R<sup>2</sup> eine Alkylengruppe mit 1 bis 10 Kohlenstoffatomen und R' wie oben definiert ist,

X ist eine Gruppe, die unter Ausbildung von Si-O-Si-Brücken eine hydrolytische Kondensationsreaktion eingehen kann,

Z' hat die Bedeutung -NH-C(O)O-, -NH-C(O)- oder -CO(O)-, wobei die beiden erstgenannte Reste über die NH-Gruppe am Rest B' gebunden sind, während die Carboxylatgruppe in beide Richtungen weisen kann,

a bedeutet 1 oder 2,

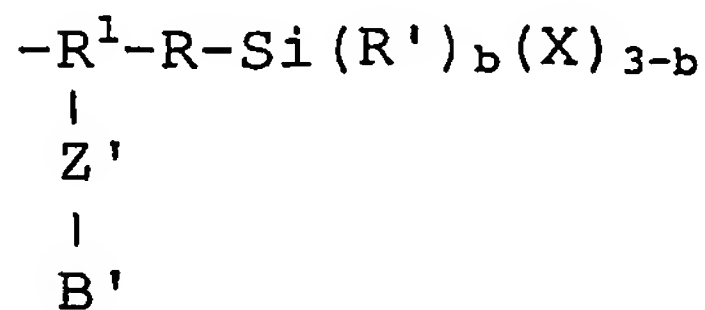
und b ist 0 oder 1.

2. Silan nach Anspruch 1, worin  
R' eine Gruppe mit 1 bis 10, vorzugsweise 1 bis 4  
Kohlenstoffatomen ist und/oder  
B und optional auch B' mindestens ein Michaelssystem,  
besonders bevorzugt eine Acrylat- oder Methacrylatgruppe  
tragen und/oder  
X eine C<sub>1</sub>-C<sub>10</sub>-Alkoxygruppe ist.
3. Silan nach Anspruch 1 oder 2, worin  
Reste B und optional auch B' Acrylsäureestergruppen und oder  
Methacrylsäureestergruppen des Trimethylolpropan, der  
Glycerins, des Pentaerythrits, der C<sub>2</sub>-C<sub>4</sub>-Alkandiole, der  
Polyethylenglycole, der Polypropylenglycole oder des  
gegebenenfalls substituierten und/oder alkoxylierten  
Bisphenol A sind oder diese Ester umfassen.
4. Silan nach einem der voranstehenden Ansprüche, worin  
die Reste B und optional auch B' ein durchgehendes  
Kohlenstoffskelett aufweisen oder dieses Skelett durch  
Heteroatome bzw. Gruppen, ausgewählt unter O, S, SO, NH,  
NHCO, PR, POR, CONHCO, COO, NHCOO, unterbrochen sind.
5. Silan nach einem der voranstehenden Ansprüche, worin a gleich  
1 und b gleich 0 ist.
6. Silan nach einem der voranstehenden Ansprüche, worin a gleich  
1 und b gleich 1 ist.
7. Silan nach einem der voranstehenden Ansprüche, worin B eine  
(Meth-)Acrylatgruppe ist oder einen Rest umfasst, der über  
eine (Meth-)Acrylatgruppe an R<sup>1</sup> gebunden ist und keine  
weitere oder eine, zwei oder drei (Meth-)Acrylatestergruppen  
aufweist.

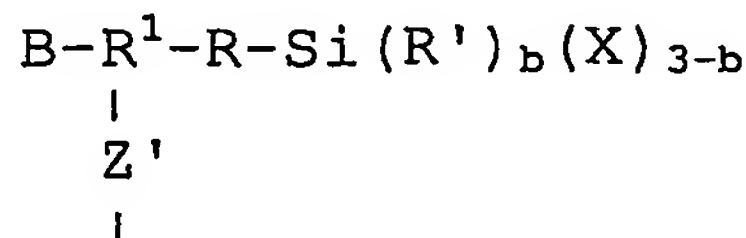
8. Silan nach einem der voranstehenden Ansprüche, worin B über eine Gruppe Z an R<sup>1</sup> gebunden ist, wobei Z eine -O-C(O)-, -S-C(O)- oder -NH-C(O)-Gruppe ist, wenn Z' -NH-CO- ist, und Z -O-R<sup>4</sup>, -S-R<sup>4</sup>, -NH-R<sup>4</sup>, -C(O)O-R<sup>4</sup>, -O-, -S-, -NH- oder -C(O)O- ist, wenn Z' -NH-C(O)O- ist, wobei R<sup>4</sup> die Bedeutung Alkylen, Arylen oder Alkylarylen mit 1 bis 10 (für ringfreie Gruppen) bzw. 6 bis 14 (für ringhaltige Gruppen) Kohlenstoffatomen hat.
9. Silan nach einem der voranstehenden Ansprüche und insbesondere nach Anspruch 7, worin Z' die Bedeutung -NH-C(O)O- oder -NH-C(O)- hat.
10. Silan nach einem der voranstehenden Ansprüche und insbesondere nach Anspruch 7 und/oder Anspruch 9, worin b null bedeutet.
11. Silan nach einem der Ansprüche 1 bis 9 und insbesondere nach Anspruch 7 und/oder Anspruch 9, worin b 1 ist und R' eine C<sub>1</sub>-C<sub>4</sub>-Alkylgruppe ist.
12. Silan nach einem der voranstehenden Ansprüche, worin B' eine (Meth-)Acrylatgruppe ist oder einen Rest umfasst, der über eine (Meth-)Acrylatgruppe an R<sup>1</sup> gebunden ist und keine weitere oder eine, zwei oder drei (Meth-)Acrylatestergruppen aufweist.
13. Silan nach einem der Ansprüche 1 bis 11, worin B' eine Dialkoxyalkylsilylalkylengruppe mit 1 bis 4 Kohlenstoffen in den Alkyl- und Alkoxygruppen und 1 bis 8 Kohlenstoffen in der Alkylengruppe ist.



14. Silan nach einem der voranstehenden Ansprüche, worin B  
mindestens eine weitere Gruppe

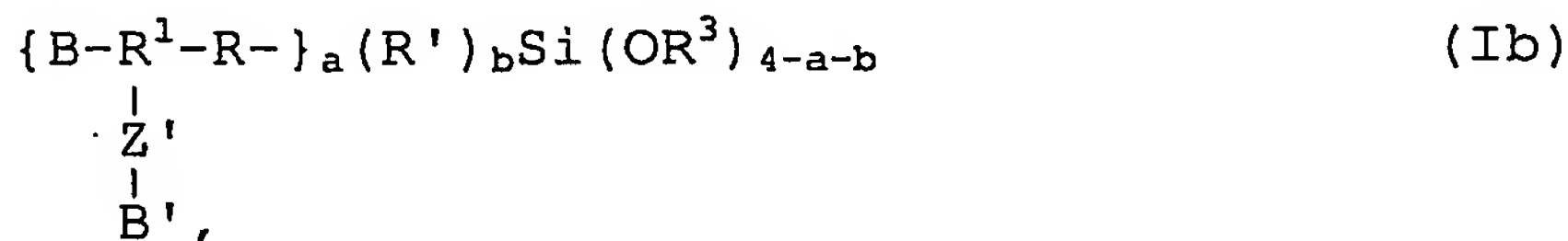


oder B' mindestens eine weitere Gruppe



enthält, worin die Reste und Indices die in Anspruch 1 für  
Formel (1a) angegebene Bedeutung besitzen.

15. Kieselsäurepoly(teil)kondensat der nachstehenden Formel (Ib),



worin die Reste und Indices die folgende Bedeutung haben:  
R ist eine offenkettige oder/oder cyclische Alkylen-, Arylen-  
oder Alkylenarylengruppe mit jeweils 1 bis 10  
Kohlenstoffatomen, die durch eine oder mehrere Sauerstoff-  
oder Schwefelatome oder Carboxyl- oder Aminogruppen  
unterbrochen sein oder solche Atome/Gruppen an ihrem dem  
Siliciumatom abgewandten Ende tragen kann;  
R<sup>1</sup> ist eine mit Z' substituierte, offenkettige und/oder  
cyclische Alkylen-, Arylen- oder Alkylenarylengruppe mit  
jeweils 1 bis 10 Kohlenstoffatomen, die durch eine oder  
mehrere Sauerstoff- oder Schwefelatome oder Carboxyl- oder  
Aminogruppen unterbrochen sein oder solche Atome/Gruppen an  
einem ihrer Enden tragen kann,  
R' ist eine offenkettige und/oder cyclische Alkyl-, Alkenyl-,  
Aryl-, Alkylaryl- oder Arylalkylgruppe mit vorzugsweise 1 bis  
20 Kohlenstoffatomen,

die Reste  $R^3$  sind gleich oder verschieden und besitzen  
zumindest teilweise die Bedeutung einer Bindung zu einem  
anderen Siliciumatom und stellen im übrigen ein  
Wasserstoffatom, eine Alkylgruppe mit 1 bis 10

Kohlenstoffatomen oder eine Bindung zu einem anderen  
Metallatom dar, das sich in Kieselsäureheteropolykondensate  
einbauen lässt,

B und B' sind gleich oder verschieden; beide Reste können die  
Bedeutung einer geradkettigen oder verzweigten organisch  
polymerisierbaren Gruppe mit mindestens einer C=C-  
Doppelbindung und mindestens 2 Kohlenstoffatomen haben, B'  
kann statt dessen aber auch  $-R^2_aSiX_{4-a}$  oder  $-R^2_aR'_bSiX_{4-a-b}$   
bedeuten, worin  $R^2$  eine Alkylengruppe mit 1 bis 10  
Kohlenstoffatomen und R' wie oben definiert ist,

Z' hat die Bedeutung  $-NH-C(O)O-$ ,  $-NH-C(O)-$  oder  $-CO(O)-$ ,  
wobei die beiden erstgenannte Reste über die NH-Gruppe am  
Rest B' gebunden sind, während die Carboxylatgruppe in beide  
Richtungen weisen kann,

a bedeutet 1 oder 2,

und b ist 0 oder 1.

16. Kieselsäurepoly(teil)kondensat nach Anspruch 15, worin  
R' eine Gruppe mit 1 bis 10, vorzugsweise 1 bis 4  
Kohlenstoffatomen ist und/oder

B und optional auch B' mindestens ein Michaelsystem,  
besonders bevorzugt eine Acrylat- oder Methacrylatgruppe  
tragen und/oder

X eine  $C_1$ - $C_{10}$ -Alkoxygruppe ist.

17. Kieselsäurepoly(teil)kondensat nach einem der Ansprüche 15  
oder 16, worin die Reste B und optional auch B' teilweise  
oder vollständig (Meth-)Acrylatreste sind und/oder  
Acrylsäureestergruppen und/oder Methacrylsäureestergruppen  
des Trimethylolpropan, des Glycerols, des Pentaerythrits, der  
 $C_2$ - $C_4$ -Alkandiole, der Polyethylenglycole, der  
Polypropylenglycole oder des gegebenenfalls substituierten  
und/oder alkoxylierten Bisphenol A sind oder diese Ester  
umfassen.

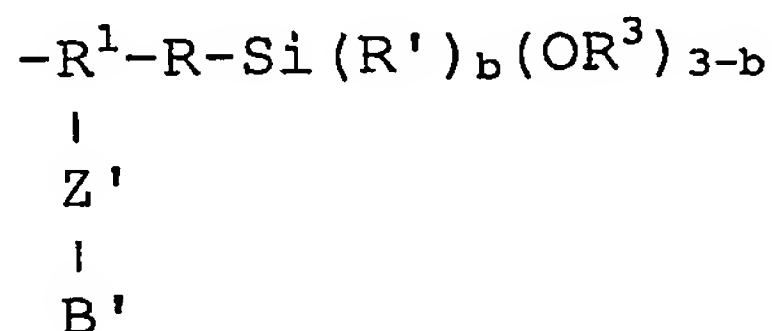
18. Kieselsäurepoly(teil)kondensat nach einem der Ansprüche 15 bis 17, worin

die Reste B und optional auch B' ein durchgehendes Kohlenstoffskelett aufweisen oder dieses Skelett durch Heteroatome bzw. Gruppen, ausgewählt unter O, S, SO, NH, NHCO, PR, POR, CONHCO, COO, NHCOO, unterbrochen sind.

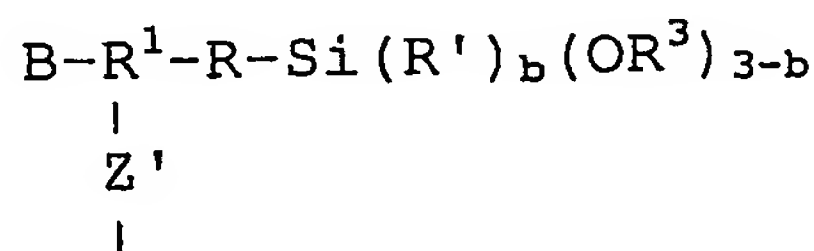
19. Kieselsäurepoly(teil)kondensat nach einem der Ansprüche 15 bis 18, worin a gleich 1 und b gleich 0 ist.

20. Kieselsäurepoly(teil)kondensat nach einem der Ansprüche 15 bis 18, worin a gleich 1 und b gleich 1 ist.

21. Kieselsäurepoly(teil)kondensat nach einem der Ansprüche 15 bis 20, worin B mindestens eine weitere Gruppe



oder B' mindestens eine weitere Gruppe



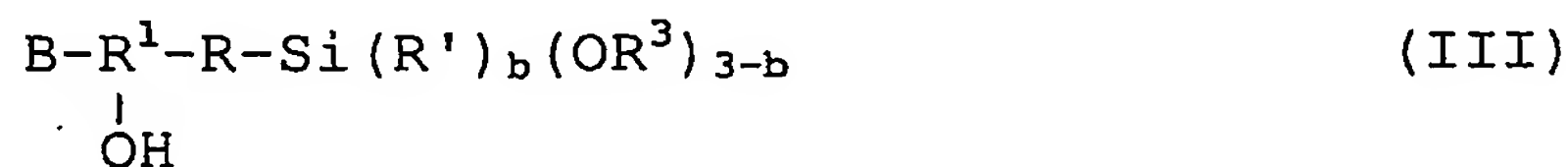
enthält, wobei die Reste und Indices die oben in Anspruch 15 angegebene Bedeutung haben.

22. Kieselsäurepoly(teil)kondensat nach einem der Ansprüche 15 bis 21, bestehend oder enthaltend ein Gemisch von Strukturelementen der Formel (Ib) mit unterschiedlichen Bedeutungen der Reste und Indices.

23. Kieseisäurepoly(teil)kondensat nach Anspruch 15, erhalten durch Hydrolyse und Kondensation eines oder mehrerer Silane mit einer der Formeln wie in den Ansprüchen 1 bis 14 definiert.

24. Kieseisäurepoly(teil)kondensat nach Anspruch 23, erhalten durch Hydrolyse und Kondensation einer Mischung aus einem oder mehreren Silanen mit einer der Formeln wie in den Ansprüchen 1 bis 14 definiert sowie einem oder mehreren weiteren Silanen und/oder einer oder mehreren hydrolysierbaren Metallverbindungen, ausgewählt unter hydrolysierbaren Metallverbindungen des Bor, Aluminium, Germanium, Zinn, Titan und Zirkonium.

25. Kieseisäurepoly(teil)kondensat nach einem der Ansprüche 15 bis 23, weiterhin umfassend ein Strukturelement (III)



worin die Reste und Indices die oben für Formel (Ib) in Anspruch 15 angegebene Bedeutung besitzen.

26. Kieseisäurepoly(teil)kondensat nach Anspruch 25, worin der Anteil der Strukturelemente mit der Formel (III), relativ zu den Anteilen der Strukturelemente mit der Formel (Ib), im Bereich von 5 bis 70 %, bevorzugt im Bereich von 10 bis 50 % liegt.

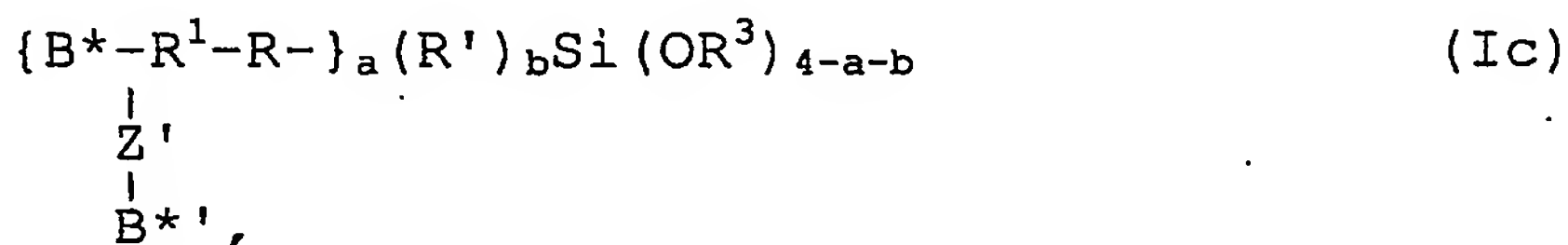
27. Kieseisäurepoly(teil)kondensat nach einem der Ansprüche 15 bis 26, das frei von polymerisierbaren organischen Monomeren ist.

28. Organisch polymerisierbare Masse (Komposit), umfassend ein Kieseisäurepoly(teil)kondensat nach einem der Ansprüche 15 bis 27 sowie mindestens einen Füllstoff.

29. Organisch polymerisierbare Masse (Komposit) nach Anspruch 28, worin der Füllstoff aus Glas oder Keramik besteht.

30. Verwendung eines Kieselsäurepoly(teil)kondensats nach einem der Ansprüche 15 bis 27 oder einer organisch polymerisierbaren Masse nach einem der Ansprüche 28 oder 29 als Beschichtungs-, Füll-, Klebe-, Verguss- oder Dichtungsmaterial, als Bindemittel für keramische Partikel, zur Herstellung oder in Form von Fasern, Partikeln, Folien, als Einbettmasse oder zur Herstellung von Formkörpern.

31. Organisch polymerisiertes Kieselsäurepoly(teil)kondensat der nachstehenden Formel (Ic),



worin die Reste und Indices die folgende Bedeutung haben:  
R ist eine offenkettige oder/oder cyclische Alkylen-, Arylen- oder Alkylenarylengruppe mit jeweils 1 bis 10 Kohlenstoffatomen, die durch eine oder mehrere Sauerstoff- oder Schwefelatome oder Carboxyl- oder Aminogruppen unterbrochen sein oder solche Atome/Gruppen an ihrem dem Siliciumatom abgewandten Ende tragen kann;  
R<sup>1</sup> ist eine mit Z' substituierte, offenkettige und/oder cyclische Alkylen-, Arylen- oder Alkylenarylengruppe mit jeweils 1 bis 10 Kohlenstoffatomen, die durch eine oder mehrere Sauerstoff- oder Schwefelatome oder Carboxyl- oder Aminogruppen unterbrochen sein oder solche Atome/Gruppen an einem ihrer Enden tragen kann,  
R' ist eine offenkettige und/oder cyclische Alkyl-, Alkenyl-, Aryl-, Alkylaryl- oder Arylalkylgruppe mit vorzugsweise 1 bis 20 Kohlenstoffatomen,  
die Reste R<sup>3</sup> sind gleich oder verschieden und besitzen zumindest teilweise die Bedeutung einer Bindung zu einem anderen Siliciumatom und stellen im übrigen ein Wasserstoffatom, eine Alkylgruppe mit 1 bis 10



Kohlenstoffatomen oder eine Bindung zu einem anderen Metallatom dar, das sich in Kieselsäureheteropolykondensate einbauen lässt,

B\* und B\*' sind gleich oder verschieden; beide Reste können die Bedeutung einer geradkettigen oder verzweigten organischen Gruppe mit mindestens einer C=C-Doppelbindung und mindestens 2 Kohlenstoffatomen haben, die zumindest teilweise untereinander polymerisiert sind, B\*' kann statt dessen aber auch  $-R^2_a Si(OR^3)_{4-a}$  oder  $-R^2_a R'_b Si(OR^3)_{4-a-b}$  bedeuten, worin  $R^2$  eine Alkylengruppe mit 1 bis 10 Kohlenstoffatomen und  $R'$  wie oben definiert ist,

Z' hat die Bedeutung  $-NH-C(O)O-$ ,  $-NH-C(O)-$  oder  $-CO(O)-$ , wobei die beiden erstgenannte Reste über die NH-Gruppe am Rest B' gebunden sind, während die Carboxylatgruppe in beide Richtungen weisen kann, a bedeutet 1 oder 2, und b ist 0 oder 1.

32. Organisch polymerisiertes Kieselsäurepoly(teil)kondensat nach Anspruch 31, erhalten durch organische Polymerisation eines Kieselsäurepoly(teil)kondensats gemäß einem der Ansprüche 15 bis 27.

33. Organisch polymerisiertes Kieselsäurepoly(teil)kondensat nach Anspruch 31 oder 32, zusätzlich enthaltend mindestens einen Füllstoff.

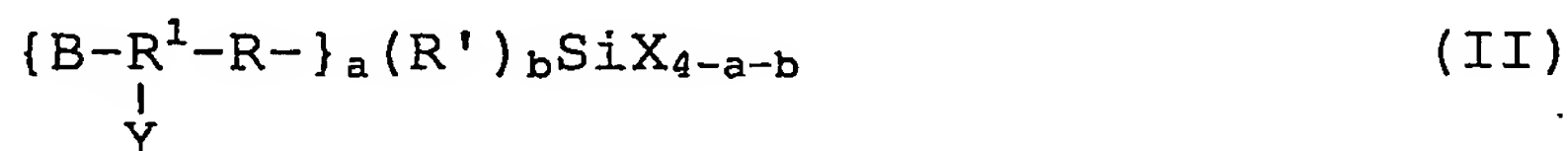
34. Copolymerisat, erhalten durch Copolymerisation eines Kieselsäurepoly(teil)kondensats nach einem der Ansprüche 15 bis 27 und einem oder mehreren organisch polymerisierbaren Monomeren und/oder Prepolymeren, ausgewählt unter radikalisch und/oder ionisch und/oder kovalent-nucleophil polymerisierbaren Monomeren und/oder Prepolymeren oder einem oder mehreren silangebundenen cyclischen System.

35. Copolymerisat nach Anspruch 34, worin die radikalisch polymerisierbaren Verbindungen ausgewählt sind unter Acrylaten oder Methacrylaten, die ionisch polymerisierbaren Verbindungen unter Ringsystemen, die kationisch ringöffnend polymerisierbar sind, insbesondere Spiroorthoestern, Spiroorthocarbonaten, bicyclischen Spiroorthoestern, Mono- oder Oligoepoxiden oder Spiro-Silanen, und die sowohl ionisch als auch radikalisch polymerisierbaren Verbindungen ausgewählt sind aus der Gruppe der Methacryloyl-Spiroorthoester.

36. Copolymerisat nach Anspruch 34, worin das silangebundene cyclische System ausgewählt ist unter solchen, die Epoxide enthalten.

37. Verfahren zum Herstellen eines Silans mit der Formel (Ia) wie in einem der Ansprüche 1 bis 14 definiert, umfassend die folgenden Schritte:

- (a) Bereitstellen einer Verbindung mit der Formel (II) oder eines Isomeren, eines Umesterungsproduktes oder eines durch Verlust eines Alkoholmoleküls entstandenen Kondensationsproduktes dieser Verbindung,



worin B, R<sup>1</sup>, R, R', X a und b die für die Formeln (Ia) angegebenen Bedeutungen besitzen und Y OH oder COOH ist,

- (b) Umsetzen dieser Verbindung oder des Isomeren, Umesterungsproduktes oder Kondensationsproduktes mit einer Verbindung

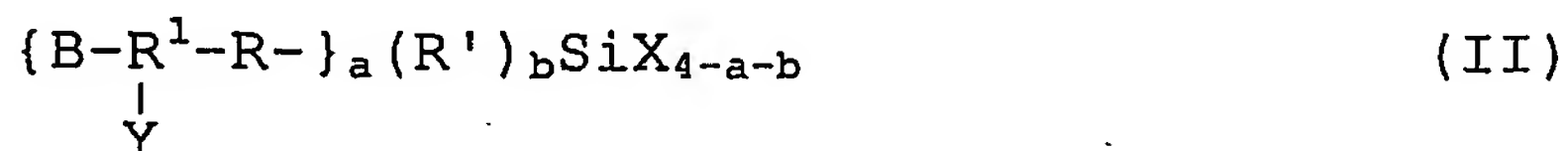


worin B' die in Anspruch 1 für Formel (Ia) angegebene Bedeutung besitzt, und

- (c) ggf. Aufarbeiten des Produktes.

38. Verfahren zum Herstellen eines Silans mit der Formel (Ia) wie in einem der Ansprüche 1 bis 14 definiert, umfassend die folgenden Schritte:

- 5 (a) Bereitstellen einer Verbindung mit der Formel (II) oder eines Isomeren, eines Umesterungsproduktes oder eines durch Verlust eines Alkoholmoleküls entstandenen Kondensationsproduktes dieser Verbindung,



worin B, R<sup>1</sup>, R, R', X a und b die für die Formeln (Ia) angegebenen Bedeutungen besitzen und Y COOH ist,

- (b) Umsetzen dieser Verbindung oder des Isomeren, Umesterungsproduktes oder Kondensationsproduktes mit einer Verbindung

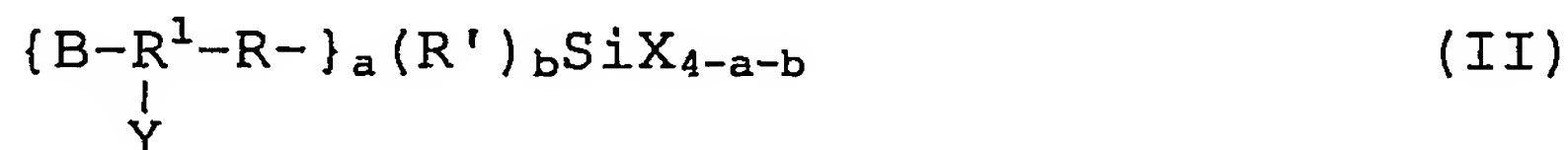


20 worin B' die in Anspruch 1 für Formel (Ia) angegebene Bedeutung besitzt, und

- (c) ggf. Aufarbeiten des Produktes.

39. Verfahren zum Herstellen eines Silans mit der Formel (Ia) wie in einem der Ansprüche 1 bis 14 definiert, umfassend die folgenden Schritte:

- (a) Bereitstellen einer Verbindung mit der Formel (II) oder eines Isomeren, eines Umesterungsproduktes oder eines durch Verlust eines Alkoholmoleküls entstandenen Kondensationsproduktes dieser Verbindung,



worin B, R<sup>1</sup>, R, R', X a und b die für die Formeln (Ia) angegebenen Bedeutungen besitzen und Y OH ist,

- (b) Umsetzen dieser Verbindung oder des Isomeren, Umesterungsproduktes oder Kondensationsproduktes mit einer Verbindung



worin B' die in Anspruch 1 für Formel (Ia) angegebene Bedeutung besitzt und C(O)X' eine Carbonsäuregruppe oder eine aktivierte Carbonylverbindung, insbesondere ein Säurechlorid oder ein Säureanhydrid ist, und

- (c) ggf. Aufarbeiten des Produktes.

\* \* \*